

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DO
INCÊNDIO DURANTE O COMBATE**

Vinícius Neves Alencar

Brasília, Julho de 2016

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DO
INCÊNDIO DURANTE O COMBATE**

Vinícius Neves Alencar

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Banca Examinadora

Prof. Adolfo Bauchspiess, UnB/ENE (Orientador)

Prof. George Cajaty Barbosa Braga, UnB/CBMDf
(Co-orientador)

Prof. Roberto de Souza Baptista, UnB/ENE

Brasília, Julho de 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

ALENCAR, VINÍCIUS NEVES

Monitoramento das Condições do Incêndio Durante o Combate,

[Distrito Federal] 2016.

xvii, 81p., 297 mm (FT/UnB, Engenheiro, Controle e Automação, 2016). Trabalho de Graduação – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

1. Combate a Incêndio

2. Automação com sensores de temperatura

3. Dispositivos Eletrônicos

4. Programação em Tempo Real

I. Mecatrônica/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALENCAR, V. N., (2016). Monitoramento das Condições do Incêndio Durante o Combate. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº 09, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 81p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Vinícius Neves Alencar.

TÍTULO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO: Monitoramento das Condições do Incêndio Durante o Combate.

GRAU: Engenheiro

ANO: 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Trabalho de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Vinícius Neves Alencar

Diretoria de Investigação de Incêndio do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, SPO – Área Especial – Conjunto 3 – Setor Policial Sul.

70610-209 Brasília – DF – Brasil.

Agradecimentos

Agradeço especialmente a minha esposa, pelo amor, dedicação e pelo apoio durante todo o trabalho. Obrigado por ter sempre me incentivado.

Agradeço aos meus pais, por terem investido em mim e sempre procurado me ensinar o caminho correto a seguir.

Agradeço a Jesus Cristo, por estar sempre comigo.

Agradeço ao meu co-orientador Ten-Cel George Cajaty Barbosa Braga, por todos os ensinamentos passados. Além de estar sempre disponível a tirar minhas dúvidas.

Agradeço ao meu orientador Prof. Adolfo Bauchspiess pelos ensinamentos, paciência e por ter acreditado em mim.

Agradeço em nome do ST Lisboa a todos os instrutores do Curso de Operações de Incêndio pelos ensinamentos e apoio prestados.

Agradeço em nome do Cel. Souza Santos a todos os militares da Diretoria de Investigação de Incêndio por ter cedido o espaço e os equipamentos necessários para a realização dos testes e dos treinamento de combate a incêndio.

Agradeço aos meus familiares e os meus amigos por me apoiarem e torcerem pelo meu sucesso.

Vinícius Neves Alencar

RESUMO

O presente Trabalho de Graduação apresenta as condições em que são submetidos os bombeiros civis ou militares durante um incêndio e o quão perigosas podem ser para a integridade física do bombeiro. Com estas informações, tem-se o intuito de realizar o monitoramento das condições do incêndio durante o combate utilizando como parâmetros a temperatura e o fluxo de calor. As condições do incêndio serão divididas em quatro grupos: condição crítica, condição extrema, condição de perigo e condição de rotina. Sendo a condição de rotina a situação ideal para realizar o combate ao incêndio. Este monitoramento realizado das condições do incêndio será visualizado pelos combatentes durante o treinamento de combate a incêndio com fogo controlado em um contêiner e com isso, visando aperfeiçoar a técnica desses bombeiros utilizando o ataque tridimensional de resfriamento dos gases em ambiente confinado.

Palavras Chave: Combate a incêndio, automação com sensores de temperatura, dispositivos eletrônicos, programação em tempo real.

ABSTRACT

This graduation work presents the conditions under which undergo military firefighters during a fire and how dangerous they can be for the physical integrity of the firefighter. With this information, it has the intention to perform monitoring of the fire conditions during combat using as parameters the temperature and heat flow. The fire conditions will be divided into four groups: critical condition, extreme condition, dangerous condition and routine condition. Being the routine condition the ideal situation to perform firefighting. The monitoring carried out of the fire conditions will be shown to the firefighters during firefighting in training with controlled fire in a container and, thereby, intending to improve the technique of these firefighters using the cooling three-dimensional attack of gases in environment confined.

Keywords: firefighting, automation with temperature sensors, electronic devices, real-time programming.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	12
1.2. OBJETIVOS.....	13
1.2.1. Objetivo Geral	13
1.2.2. Objetivos Específicos	13
1.3. TRABALHOS ANTERIORES	13
2. DESENVOLVIMENTO.....	14
2.1. TREINAMENTO DE COMBATE A INCÊNDIO	14
2.2. CONCEITOS DE PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO	15
2.3. CONDIÇÕES DO INCÊNDIO.....	17
2.4. INCÊNDIOS EM AMBIENTES CONFINADOS.....	20
2.5. MODO DE ATAQUE	22
2.6. TÉCNICAS DE COMBATE	23
3. MONITORAÇÃO DA TEMPERATURA	26
3.1. SOLUÇÃO PROPOSTA.....	26
3.2. PLANEJAMENTO DA PROGRAMAÇÃO COMPUTACIONAL	29
3.3. CONDIÇÕES ADVERSAS DE INCÊNDIOS EM AMBIENTES CONFINADOS	34
4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	37
4.1. MONTAGEM FÍSICA, <i>HARDWARE</i> E <i>SOFTWARE</i>	37
4.2. PROGRAMAÇÃO NO LABVIEW	37
4.3. PROGRAMAÇÃO PARA O PRIMEIRO PAINEL	38
4.4. PROGRAMAÇÃO PARA O SEGUNDO PAINEL.....	41
4.5. ARMAZENAR DADOS.....	49
4.6. MONTAGEM DOS PAINÉIS	52
4.7. <i>HARDWARE</i> UTILIZADO	55
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	58
5.1. ANALISANDO O FUNCIONAMENTO DOS PAINÉIS DE LED.....	58
5.2. TESTES EM LABORATÓRIO COM O PRIMEIRO PAINEL	60
5.3. TESTES EM LABORATÓRIO COM O SEGUNDO PAINEL.....	62
5.4. RESULTADOS DO PRIMEIRO PAINEL EM TREINAMENTO DE COMBATE A INCÊNDIO.....	64
5.5. RESULTADOS DO SEGUNDO PAINEL EM AMBIENTE CONFINADO	67
6. CONCLUSÃO	71
6.1. CONCLUSÃO	71

6.2. TRABALHOS FUTUROS	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Ilustração de formas de transferência de calor	16
Figura 2.2. Limite de exposição térmica durante o combate a incêndio.	19
Figura 2.3. Fenômeno de generalização do incêndio.	20
Figura 2.4. Explicação de como ocorre o <i>backdraft</i>	21
Figura 2.5. Ataque defensivo em um incêndio.	22
Figura 2.6. Ataque ofensivo em um incêndio.	23
Figura 2.7. Ataque direto ao incêndio.	24
Figura 2.8. Ataque indireto em um incêndio.	24
Figura 2.9. Posição para o ataque tridimensional de resfriamento dos gases.	25
Figura 3.1. Painel de cinco canais com as cores vermelho, amarelo e verde.	27
Figura 3.2. Painel de três canais com as cores verde, amarelo e vermelho.	28
Figura 3.3. Gráfico ilustrando a aplicação do jato d'água para o Cenário 1.	30
Figura 3.4. Ilustração análoga de memória em pilha.	32
Figura 3.5. Jato de água aplicado sobre um incêndio de grandes proporções.	33
Figura 3.6. Ilustrando o ponto em que a temperatura começa a subir no Cenário 1.	34
Figura 3.7. Gráfico mostrando a temperatura em um incêndio a diferentes alturas.	35
Figura 3.8. Ilustração da dinâmica da fumaça em um incêndio em local confinado.	36
Figura 4.1. Página inicial do <i>software</i> Labview.	38
Figura 4.2. Algoritmo ilustrando o funcionamento inicial da programação.	39
Figura 4.3. Subprograma que realiza a seleção dos LEDs que deverão ser ligados.	40
Figura 4.4. Painel do subprograma que seleciona os valores de temperatura.	41
Figura 4.5. Algoritmo mostrando o Início da programação para o segundo painel.	42
Figura 4.6. Algoritmo ilustrando o início do subprograma Pilha.	43
Figura 4.7. Algoritmo mostrando o funcionamento do subprograma que cria o <i>array</i>	44
Figura 4.8. Subprograma que cria a memória em forma da lista FIFO.	45
Figura 4.9. Algoritmo mostrando a identificação da ocorrência de jato d'água	46
Figura 4.10. Algoritmo da função Pilha após a identificação do jato atomizado.	46
Figura 4.11. Algoritmo da busca do menor valor de temperatura devido ao jato d'água.	47
Figura 4.12. Algoritmo do cálculo da eficiência.	49
Figura 4.13. Planilha em Excel que são armazenados os dados.	50
Figura 4.14. Painel do programa com as funcionalidades.	51
Figura 4.15. Algoritmo que mostra a parte do programa que ocorre o armazenamento de dados na planilha.	51
Figura 4.16. Luminárias Tartaruga.	52

Figura 4.17. Silicone para alta temperaturas aplicado na luminária.	53
Figura 4.18. Placa universal perfurada com o circuito elétrico.	54
Figura 4.19. Circuito do primeiro painel.	54
Figura 4.20. Circuito do segundo painel.	55
Figura 4.21. Sensor de temperatura termopar do tipo K em bastão.....	56
Figura 4.22. Módulo NI 9213 – Leitura de sensores termopares.	56
Figura 4.23. Módulo NI 9485 – Relay para ligar e desligar os LEDs.....	57
Figura 4.24. Base NI cDAQ-9174 – Sincroniza os módulos ao computador.	57
Figura 5.1. Instalação dos componentes para a realização do experimento em laboratório.	61
Figura 5.2. Sensores termopares em contato com a vela acesa.	61
Figura 5.3. Gráfico da Temperatura dos três sensores em contato com a chama da vela.	62
Figura 5.4. Planilha em Excel com os dados gravados em experimento em laboratório.	63
Figura 5.5. Gráfico do experimento em laboratório criando uma situação análoga a aplicação do jato atomizado.	64
Figura 5.6. Instalação dos módulos NI e conexão com o computador.	65
Figura 5.7. Mostrando o início do treinamento com a utilização dos painéis de LED.....	65
Figura 5.8. As luzes do primeiro painel acendendo conforme o aumento de temperatura.	66
Figura 5.9. Relacionando os valores de temperatura com o intervalo de tempo.	67
Figura 5.10. Treinamento de combate a incêndio com aplicação do jato atomizado.	68
Figura 5.11. O painel mostrando a eficiência do jato atomizado aplicado.....	68
Figura 5.12. Eficiência do jato de água e o intervalo de tempo em que ocorreu.	69
Figura 5.13. Condições dos painéis após a realização de um dos experimentos.	70
Figura 1. Ilustração do cálculo da média das temperaturas no Labview.	77
Figura 2. Subprograma que realiza a seleção dos LEDs que deverão ser ligados no Labview.	78
Figura 3. Subprograma que cria o <i>array</i> no Labview.	78
Figura 4. Subprograma que cria a memória em forma de FIFO no Labview.	79
Figura 5. Subprograma Jato_Agua encontrando o menor valor de temperatura no Labview.	79
Figura 6. Demonstrando o fim do armazenamento de dados no subprograma Pilha no Labview.....	80
Figura 7. Ilustrando a detecção do menor valor de temperatura no Labview.	80
Figura 8. Nesta etapa são ligados os LEDs correspondentes e calculada a eficiência no Labview.....	81
Figura 9. Nesta parte do programa ocorre o armazenamento de dados na planilha no Labview.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Consequências para o ser humano de acordo com exposição aos níveis de fluxo de calor.	17
Tabela 2.2. Consequências para o ser humano de acordo com exposição ao aumento da temperatura no ambiente.	18
Tabela 3.1. Cenário 1 de treinamento de combate a incêndio em ambiente confinado.	29
Tabela 3.2. Faixas de temperatura estabelecidas para acender os canais de LED do primeiro painel.....	31
Tabela 4.1. Faixas de valores da eficiência do jato d'água e canais ativados para o segundo painel.	48
Tabela 4.2. Materiais utilizados para a construção do primeiro painel de LEDs.	53
Tabela 5.1. Cenários de treinamento de combate a incêndio em ambiente confinado.	58

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

Símbolos

$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
$<$	Menor que
$>$	Maior que
\geq	Maior ou igual
\approx	Aproximadamente igual
q	Taxa de fluxo de calor, kcal/s
$\Delta\theta$	Diferença de temperatura, $^{\circ}\text{C}$
K	Coeficiente, kcal/s $^{\circ}\text{C}$
q_{rad}	Taxa de transferência de calor por radiação
ε	Propriedade radiativa da superfície denominada emissividade ($0 < \varepsilon < 1$)
σ	Constante de Stefan Boltzmann ($\approx 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
T_s	Temperatura na superfície
T_{arr}	Temperatura nos arredores da superfície
kW/m^2	KiloWatts por metro ao quadrado
Bar	Unidade de pressão ($\approx 10^5 \text{ N/m}^2$)

Siglas

CBMDF	Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal
EPI	Equipamento de proteção individual
GPM	Galões por minuto ($\approx 6,31 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (diodo emissor de luz)
NI	<i>National Instruments</i>
FIFO	<i>First in, First out</i> (primeiro a entrar, primeiro a sair)
USB	<i>Universal Serial Bus</i> (“Porta Universal”)
COI	Curso de Operações em Incêndio
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo contextualiza o tema escolhido, apresenta os objetivos do projeto e trabalhos anteriores.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Os incêndios podem apresentar perigos muitas vezes invisíveis para os bombeiros que o estão combatendo. As consequências geradas pelo fluxo de calor e pela temperatura podem causar danos na estrutura no qual está ocorrendo o sinistro e para os bombeiros que estão combatendo o incêndio.

Em experimento com fogo em ambiente controlado realizado em um contêiner metálico, Braga, Neto e Salazar (2016) encontraram temperaturas de 200 °C após cerca de vinte minutos de combate, temperatura esta encontrada na parte externa na roupa de aproximação, sendo esta uma roupa utilizada como equipamento de proteção individual (EPI) pelos bombeiros durante combate a incêndios. Caso os bombeiros não estivessem de roupa de aproximação durante este experimento com fogo com cerca de 72 °C o tecido humano é totalmente destruído (Lawson, 2009) e com temperaturas acima de 300 °C os tecidos da roupa de aproximação começam a carbonizar (Lawson, 2009).

Outro fator importante é o surgimento de medidas de segurança contra incêndio e pânico mais eficientes para edificações ao longo dos anos, tendo como consequência a diminuição de incêndios urbanos (USFA, 2003). Essa diminuição de incêndios fizeram com que os bombeiros com ingresso na carreira mais recente tivessem menos experiência em incêndios, perdendo, em parte, a percepção a evolução das fases dos incêndios e os riscos inerentes.

Com isso, é de extrema importância que os bombeiros saibam perceber as condições em que se encontram os incêndios em que irão combater. Uma forma de se obter essas percepções é por meio de incêndios em ambientes controlados aproximando do mais real possível de uma situação de combate. Pois os bombeiros já conhecendo, por meio de treinamentos prévios, diversas condições de incêndios, poderão saber a melhor forma de atuar e se é seguro realizar o combate interno, ou seja, no interior da edificação incendiada.

Para que isso seja possível, faz-se necessário criar diversas condições em que se pode encontrar em incêndios reais, monitorando a temperatura do local (Braga et al., 2016). Com estas informações, torna-se possível os bombeiros visualizarem as diversas condições de incêndios e com isso conseguirem identificar as condições em que se encontra um determinado incêndio em situação real.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Realizar pesquisa em inovações tecnológicas com o intuito de melhorar a percepção e a técnica de combate a incêndio em local confinado dos bombeiros.

1.2.2. Objetivos Específicos

Tem-se a finalidade de criar dois painéis de LEDs com a sua respectiva programação, em que se realizará o monitoramento da temperatura em um ambiente confinado com fogo controlado para treinamento da percepção dos bombeiros quanto à evolução do incêndio e a eficiência do jato de água que está sendo aplicado durante o combate.

Com isso, o primeiro painel informará para o combatente as faixas de temperatura por meio do acendimento de LEDs nas cores verde, amarelo e vermelho, sendo a informação fornecida durante o treinamento de combate a incêndio em ambiente confinado. O segundo painel mostrará a eficiência do jato de água atomizado que está sendo aplicado no mesmo treinamento em ambiente confinado.

1.3. TRABALHOS ANTERIORES

Estudos relacionados à ciência do fogo e a treinamento em ambientes confinados ainda são recentes devido às suas especificidades. Pesquisas realizadas por Braga, Neto e Salazar (2016) demonstram o perigo para os bombeiros ao combaterem incêndios com altas temperaturas mesmo utilizando o EPI. Existe, também, experimentos inéditos realizados por Braga (2015), no qual demonstram a diferença na diminuição da temperatura da aplicação de um jato de água pulsado ineficiente com um jato d'água eficiente.

CAPÍTULO 2

2. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são apresentados conceitos relacionados a incêndios em locais confinados e a relação que a temperatura e o fluxo de calor tem para a propagação deste incêndio.

2.1. TREINAMENTO DE COMBATE A INCÊNDIO

O fogo é utilizado para os mais diversos fins, desde aquecimento de alimentos e do ambiente, até em fabricação de materiais metálicos e industrialização de equipamentos. Refere-se a incêndio o fogo que foge do controle humano, ocorrendo a queima daquilo que não estava destinado a queimar, podendo causar morte de pessoas e animais, além de dano patrimonial, produzindo calor e fumaça no local (CBMDF, 2009).

Os Corpos de Bombeiros surgiram inicialmente para combaterem incêndios (Breda, 2010). Posteriormente, com o desenvolvimento da sociedade: como o surgimento das cidades, edificações altas e a utilização de veículos automotivos, dentre outros motivos; os bombeiros militares ou civis foram assumindo novas tarefas de atender aos mais diversos tipos de sinistros, abrangendo um campo de atuação muito maior do que apenas combate a incêndios.

Atualmente, os bombeiros treinam uma gama de atividades, além de vivenciarem na prática, em ocorrências reais, esses treinamentos. A consequência da necessidade de possuírem uma quantidade bem maior de conhecimento do que apenas para combaterem incêndios, fez com que o combate a incêndio tivesse uma quantidade de horas treinadas diminuídas pela demanda de conhecimento em outras áreas. (USFA, 2003).

Além deste fator, surgiram medidas de segurança contra incêndio e pânico cada vez mais eficientes, como chuveiros automáticos e sistemas de alívios de fumaça. E também, em edificações modernas, com medidas de evacuação rápida da população e compartimentações da fumaça e do fogo, limitando a evolução de incêndios. Fazendo com que houvesse uma diminuição na quantidade de incêndios. Segundo USFA (2003): “do ano

de 1987 ao ano de 2001, houve uma diminuição de 31% na quantidade de incêndios estruturais nos Estados Unidos. Como resultado desse declínio nos incêndios, os bombeiros em geral possuem menos experiência prática em incêndios que seus predecessores possuíam uma geração atrás”.

2.2. CONCEITOS DE PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO

O fogo atua de forma agressiva em locais com incêndios causando destruição rapidamente. Ao realizar o combate ao incêndio, duas componentes são preocupantes e devem ser monitorados: fluxo de calor e temperatura (Lawson, 2009). O fluxo de calor está relacionado à taxa de energia térmica transferida de uma região mais fria para uma mais quente (CBMDF, 2009). Já a temperatura tem relação direta com a atividade molecular, ou seja, é a expressão do grau de agitação das moléculas (CBMDF, 2009).

O perigo de se queimar é associado apenas temperatura do material, mas o fluxo de calor é tão importante quanto à temperatura, pois é a componente que causa a variação de temperatura em um incêndio (Braga et al., 2016). Sendo que o calor pode ser transferido de três formas (CBMDF, 2009):

- **Condução:** a transferência de calor ocorre de forma direta entre as moléculas dos materiais em contato;
- **Convecção:** transferência de calor acontece devido ao contato direto entre as moléculas do fluido, envolvendo condução de calor, diferença de densidade e a mudança de fase (estado físico).
- **Radiação Térmica:** esta transferência de calor ocorre por meio de ondas eletromagnéticas, se deslocando em todas as direções, em linha reta e a partir da chama. Não depende do meio para se propagar e todo corpo com temperatura superior ao zero absoluto (aproximadamente -273°C) emite radiação térmica.

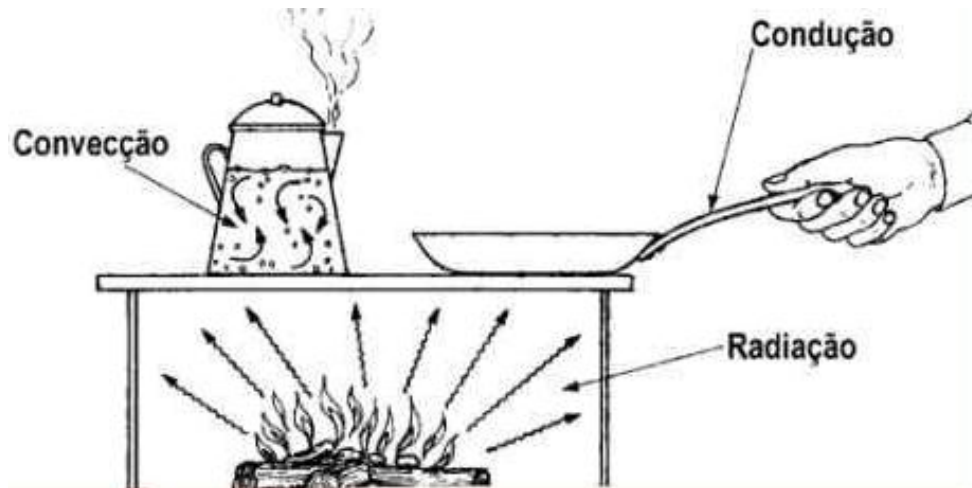


Figura 2.1. Ilustração de formas de transferência de calor
 Fonte: <http://images.slideplayer.com.br/>

A transferência de calor por condução ou convecção é definida pela equação (Ogata, p. 180):

$$q = K \cdot \Delta\theta \quad (1)$$

onde

q = taxa de fluxo de calor, kcal/s

$\Delta\theta$ = diferença de temperatura, °C

K = coeficiente, kcal/s °C

De forma aproximada, a taxa de transferência de calor por radiação desde a superfície por unidade de área é expressa por (Rodrigues de Oliveira, 2010):

$$q_{\text{rad}} = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{\text{arr}}^4) \quad (2)$$

onde

q_{rad} = a taxa de transferência de calor por radiação

ϵ = propriedade radiativa da superfície denominada emissividade ($0 < \epsilon < 1$)

σ = constante de Stefan Boltzmann ($= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

T_s = Temperatura na superfície

T_{arr} = Temperatura nos arredores da superfície

Além disto, a transferência de calor de um corpo para outro ou entre ambientes está relacionada: ao tipo de material combustível aquecido, à capacidade deste material de reter calor e à distância da fonte de calor que está aquecendo o material (CBMDF, 2009).

2.3. CONDIÇÕES DO INCÊNDIO

As formas de transferência de calor apresentadas causam aumento de temperatura no ambiente com incêndio e com isso, agravando os riscos de queimaduras em um combate. As consequências para o ser humano com diferentes níveis de fluxo de calor são apresentadas na tabela 2.1.

Tabela 2.1. Consequências para o ser humano de acordo com exposição aos níveis de fluxo de calor.

Fluxo de Calor (kW/m ²)	Consequências
0.67	Dia ensolarado de verão no Reino Unido
≈ 1	Fluxo em um dia claro de Sol na superfície da Terra com radiação direta. Valor limite de dor para uma pele não protegida. Uma queimadura de Sol pode ocorrer entre 20 e 30 minutos.
2,5	Exposição típica de um bombeiro quando trabalhando.
4,5	Uma pele sem proteção irá sofrer queimadura de 2º grau em cerca de 30 segundos.
6,4	Uma pele sem proteção irá sentir dor em menos de 8 segundos e queimadura de 2º grau em 18 segundos.
7	Valor limite para os bombeiros vestindo a roupa de proteção após de 3 a 7 minutos de exposição.
10	Uma pele sem proteção irá sofrer queimaduras de 2º grau em cerca de 10 segundos.
12	Pirólise da madeira.
13	Os gases voláteis da madeira irão sofrer ignição quando expostos a uma chama.
16	Uma pele sem proteção irá sentir dor imediatamente e queimaduras de 2º grau em 5 segundos.
20	Uma pele sem proteção irá sofrer queimaduras de 2º grau em menos de 4 segundos. Este nível de fluxo de calor representa o fluxo de calor no nível do chão em um quarto no início da generalização do incêndio (<i>flashover</i>).
29	Ignição espontânea da madeira.
80	Uma pele sem proteção irá sofrer queimaduras de 2º grau instantaneamente. A generalização do incêndio está estabelecida no ambiente.
84	Fluxo de calor especificado no teste das roupas de proteção dos bombeiros, prevista na Norma <i>NFPA 1971</i> .

170	Máximo fluxo de calor pelo <i>NIST</i> numa situação de pós-generalização do incêndio dentro de um ambiente.
-----	--

Fonte: Lawson (2009) e Svensson (2008)

Também, são apresentados os efeitos nocivos para o ser humano ao ser exposto ao aumento da temperatura, conforme tabela abaixo.

Tabela 2.2. Consequências para o ser humano de acordo com exposição ao aumento da temperatura no ambiente.

Temperatura (°C)	Consequência
37	Temperatura normal do corpo humano.
38	Temperatura interna corporal típica de um bombeiro quando trabalhando.
43	Temperatura interna corporal humana que pode causar morte.
44	Temperatura da pele humana quando começa a sentir dor.
48	Temperatura da pele humana causando queimadura de 1º grau.
54	Temperatura da água quente que pode causar uma queimadura em 30 segundos.
55	Temperatura da pele humana com bolhas e queimaduras de 2º grau.
62	Temperatura quando o tecido humano torna-se entorpecido.
72	Temperatura quando o tecido humano é imediatamente destruído.
100	Temperatura quando a água ferve e torna-se vapor.
250	Temperatura quando o algodão natural começa a carbonizar.
> 300	Temperatura quando os tecidos sintéticos das roupas de proteção começam a carbonizar.
≥ 400	Temperatura dos gases em um ambiente quando o incêndio começa a se generalizar (<i>flashover</i>).
≈ 1000	Temperatura dentro de um ambiente com a generalização do incêndio.

Fonte: Lawson (2009)

Com isso, Foster e Roberts (1994) dividiram as condições de incêndio em quatro grupos, de acordo com a temperatura e o fluxo de calor do local:

- De rotina: Condição de operação mais comum para o bombeiro durante o combate a um incêndio. Tendo como temperatura máxima de 100 °C e 1 kW/m² como fluxo de calor máximo na roupa de proteção específica para incêndio, para um tempo de exposição de 25 minutos.
- De perigo: Condição de operação para períodos curtos de tempo, devido à alta temperatura e a alta radiação térmica. Temperatura máxima de 160 °C e fluxo de calor máximo de 4 kW/m² na roupa de proteção para incêndio, para um limite de

tempo de operação de 1 minuto. Para temperaturas mais amenas entre 100 °C e 160 °C estabeleceu-se o limite de tempo que pode ser tolerado nessas condições de 10 minutos.

- Extremas: Ocorre, geralmente, em situações de resgate de vítimas ou, no pior caso, em situação de fuga dos bombeiros devido à generalização do incêndio (*flashover*). Ocorre para tempos de operação abaixo de 1 minuto, com temperaturas entre 160 °C e 235 °C e com fluxo de calor ou radiação térmica entre 4 kW/m² e 10 kW/m² na roupa de proteção para incêndio.
- Críticas: Condições com temperaturas acima de 235 °C e radiação térmica acima de 10 kW/m². Nestas condições há risco de morte (Braga et al., 2016).

Então, foi classificada em quatro as condições de incêndio, tendo como parâmetros o tempo de exposição ou de operação do bombeiro durante o combate, a temperatura e o fluxo de calor na roupa de proteção específica para incêndio. Braga et al. (2016) colocou de forma gráfica para facilitar a compreensão na Figura 2.2.

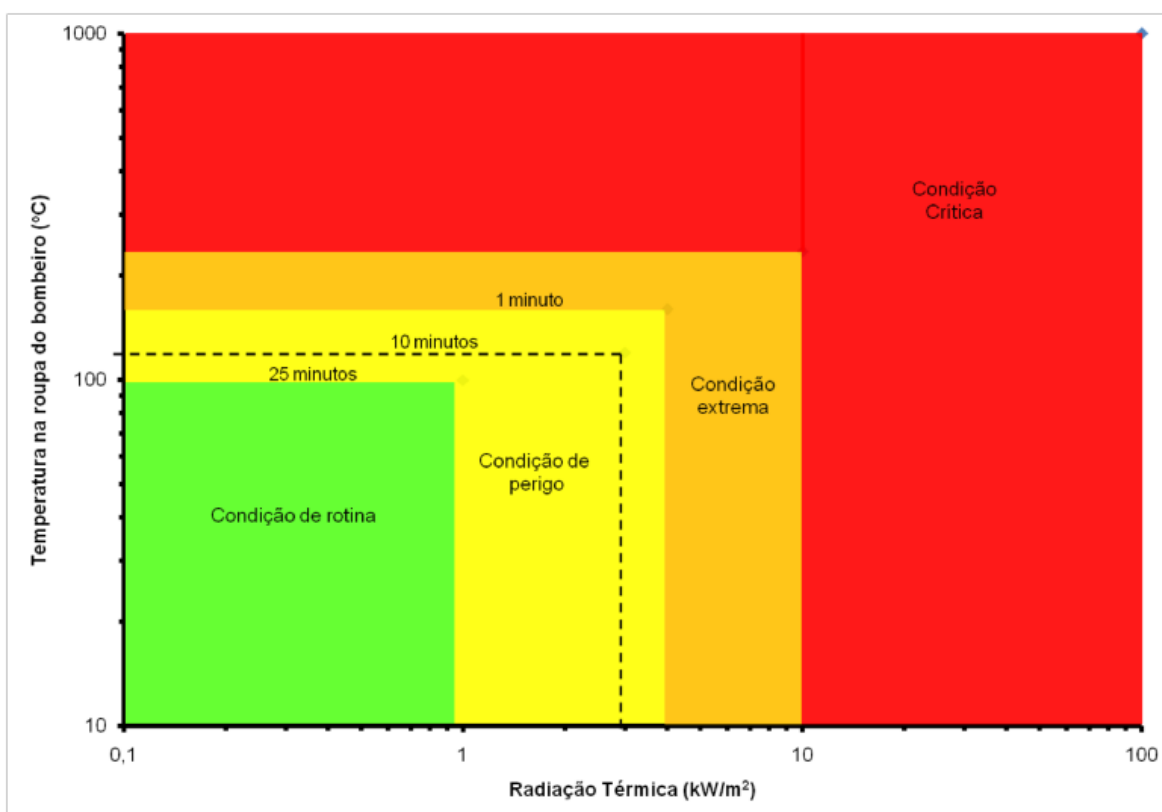


Figura 2.2. Limite de exposição térmica durante o combate a incêndio.

2.4. INCÊNDIOS EM AMBIENTES CONFINADOS

Incêndio é definido como o fogo que foge ao controle do homem, queimando tudo aquilo que não estava previsto para queimar (CBMDF, 2009). Incêndios, por si só, são eventos complexos, porque possuem dependência temporal de processos físicos e químicos para o seu início e propagação, ainda têm incertezas vindas do comportamento humano, das condições de portas e outras aberturas em incêndios em edificações, localização do fogo e da disposição e quantidade de material combustível no ambiente. (Hadjisophocleous & Benichou, 1999).

Incêndios em ambientes confinados ainda possuem algumas peculiaridades como uma maior quantidade de fumaça, o risco de generalização do incêndio (*flashover*) e a explosão ambiental (*backdraft*) (Oliveira, 2005). O fenômeno denominado *flashover* ocorre em ambientes confinados com oxigenação adequada no ambiente com percentuais superiores a 21% de O_2 considera-se que o ambiente é rico em oxigênio.

Outro fator importante que antecede a ocorrência do *flashover* é a formação de uma camada de gás aquecido no teto da edificação, no qual irradia calor para os materiais combustíveis afastados do foco de incêndio (Oliveira, 2005). O *flashover* ocorre no momento que esses gases se aquecem até a temperatura de ignição dos materiais combustíveis presentes no ambiente, ocorrendo uma ignição súbita generalizada, ficando todo o ambiente em chamas.



Figura 2.3. Fenômeno de generalização do incêndio.
Fonte: CBMDF (2009).

O *backdraft* ocorre devido à oxigenação inadequada no ambiente. A diminuição da taxa de oxigênio ocorre devido ao fato deste gás ser o comburente em um incêndio e ser consumido com a evolução do incêndio, como o ambiente está confinado, não existe a reposição deste oxigênio que está sendo consumido.

O incêndio ocorre quando presente o combustível em um ambiente rico em comburente (oxigênio) e na presença de calor suficiente para a ignição dos materiais combustíveis, com estes eventos acontecendo em reação em cadeia (CBMDF, 2009).

Devido à oxigenação inadequada no ambiente, com percentual abaixo de 8% de O₂ (Antonio et al, 2006), a queima se torna lenta e a combustão incompleta, pois não se tem oxigênio suficiente para que o incêndio possa evoluir (Oliveira, 2005). Uma grande quantidade de calor e gases aquecidos pode ficar armazenado no ambiente que não possui comburente suficiente. Mesmo que estes gases atinjam a temperatura de ignição dos materiais combustíveis, pode não ocorrer a queima devido a quantidade insuficiente de oxigênio no ambiente.

Porém, no momento em que os bombeiros ventilam o ambiente para adentrar e combater o incêndio, aumenta-se subitamente a concentração de oxigênio e em consequência, ocorre uma explosão no local.

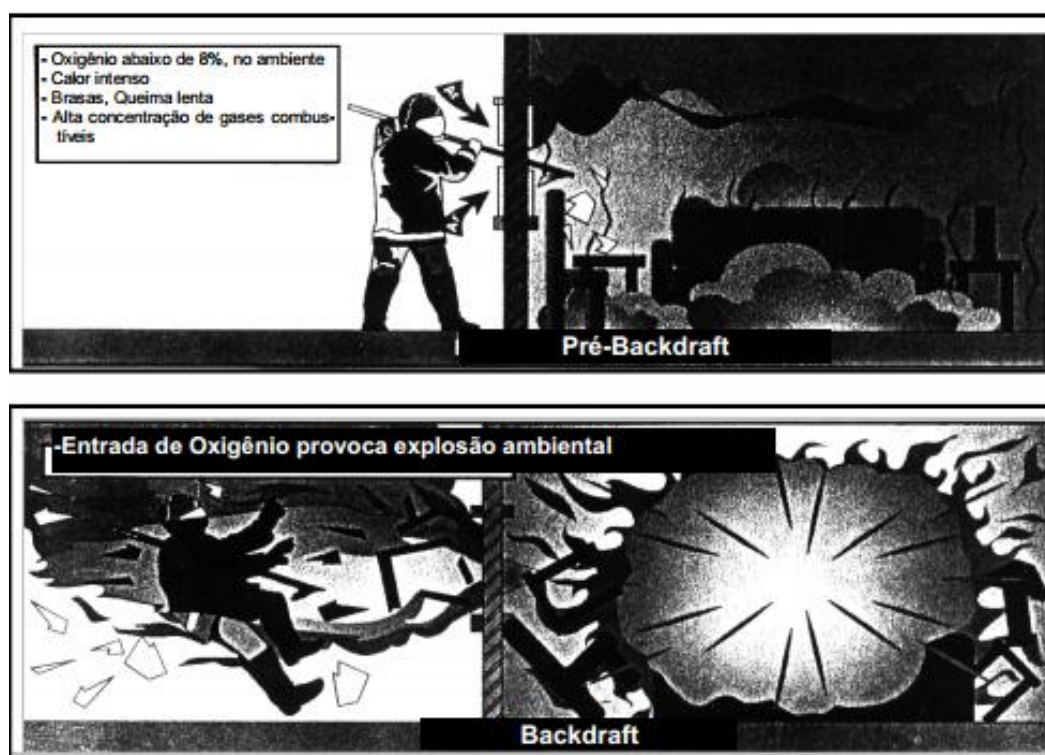


Figura 2.4. Explicação de como ocorre o *backdraft*.

Fonte: Antonio et al (2006).

Estes fenômenos além de oferecer risco para a população de uma edificação em situação de incêndio, é perigoso para os combatentes que estarão em ação de combate. Segundo Grimwood (2003), no período entre os anos 1990-1999 ocorreram 87 mortes de bombeiros combatentes nos Estados Unidos, no qual foram dadas com causa relacionadas estes fenômenos um total de 23 mortes.

Enfim, sendo necessário aos combatentes terem as percepções necessárias para conhecer diversas situações que podem ocorrer em um incêndio. Oliveira (2005) cita que existem conclusões que se pode tirar da situação em que um incêndio se encontra e como pode evoluir observando o calor presente no local, observando a elevação de temperatura no ambiente. Outros elementos a serem observados: a fumaça (cor e quantidade), fluxo de ar no ambiente incendiado e a cor das chamas.

2.5. MODO DE ATAQUE

Ao se combater um incêndio deve-se decidir o modo como atacá-lo. Para isto, leva-se em consideração a situação do incêndio, a sua provável evolução e ainda, quais os recursos de viaturas e de pessoal disponíveis no local do sinistro. Existem dois modos de combate: ataque defensivo e ataque ofensivo (CBMDF, 2009).

O ataque defensivo é decidido quando os recursos disponíveis não são suficientes, devido a intensidade das chamas não possibilitarem um ataque ofensivo e quando existe risco para os combatentes em realizar o ataque ofensivo. Este tipo de ataque consiste em se posicionar fora da área de risco, na parte externa da edificação, sendo o ataque realizado pelo emprego de linhas de mangueira com maior diâmetro e com isso, aumentando o alcance do jato e o volume de água utilizada no combate (CBMDF, 2009).



Figura 2.5. Ataque defensivo em um incêndio.
Fonte: <http://portal.vpgroup.com.br/>

Já o ataque ofensivo é empregado em situações que as proporções do incêndio permitem conter o fogo, confinando-o dentro do próprio ambiente (Antonio et al, 2006). Com isso, os combatentes se posicionam próximos do foco do incêndio, com o intuito de confinar o incêndio e controlar e resfriar as chamas, tendo como objetivo final extinguir o incêndio (CBMDF, 2009).



Figura 2.6. Ataque ofensivo em um incêndio.
Fonte: <http://2.bp.blogspot.com/>.

2.6. TÉCNICAS DE COMBATE

Estudos relacionados a incêndios permitiram a produção de novos conceitos relacionados a este fenômeno. O estudo do comportamento do fogo, como a produção de gases inflamáveis, fizeram com que se aumentasse ainda mais a atenção na avaliação de riscos para escolher as melhores opções de táticas e técnicas de combater o fogo (Oliveira, 2005).

A formação de gases inflamáveis, a exposição a perigos relacionados a estrutura em que se está ocorrendo o incêndio, além da rápida propagação de incêndios em ambiente confinados faz com que seja necessário a escolha de melhor forma de ataque para diminuir os riscos para os combatentes e não colocar a vida dos ocupantes da edificação em perigo. Ao se referir em ataque, trata-se da aplicação do agente extintor água para extinguir o fogo (CBMDF, 2009).

Os métodos de ataque ao fogo são classificados em: ataque indireto, ataque direto e ataque tridimensional (Oliveira, 2005). O ataque direto trata-se da aplicação de água sobre o foco, local onde está se desenvolvendo o incêndio. Sendo uma opção eficiente para incêndios de pequenas proporções, pois caso a vazão de água não seja suficiente para extinguir o incêndio de forma imediata, produz vapor excessivo no ambiente e empurrar a camada de fumaça e gases inflamáveis, podendo alastrar o fogo (CBMDF, 2009).

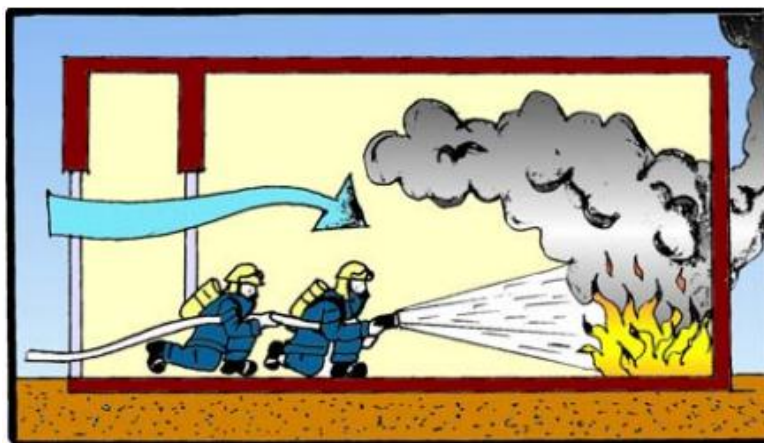


Figura 2.7. Ataque direto ao incêndio.
Fonte: CBMDF, 2009.

O ataque indireto, método baseado nos princípios de Layman (1960), caracteriza-se pelo lançamento de jato neblinado de água para a parte superior da edificação com o intuito de extinguir ou controlar o incêndio por meio do resfriamento do local e da diminuição de oxigênio no ambiente incendiado pela produção excessiva de vapor de água (Oliveira, 2005). O jato neblinado ocorre quando utilizando o jato compacto, posicionando o esguicho sem ângulo de abertura de saída de água, a grandes distâncias, que, pelo atrito, quebra-se e torna-se neblinado até chegar ao objetivo (CBMDF, 2009).

O ataque indireto é utilizado quando não é possível acessar o local incendiado por meio do ataque ofensivo. Porém, este método coloca em risco os ocupantes da edificação, devendo ser utilizado quando se tem a certeza que não existem vítimas no interior da edificação (Oliveira, 2005).

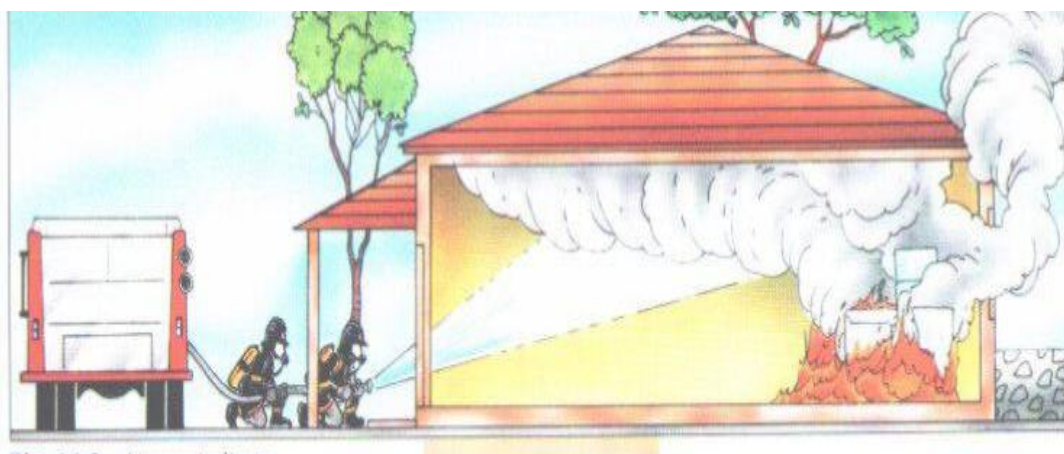


Figura 2.8. Ataque indireto em um incêndio.
Fonte: <http://images.slideplayer.com.br/>

O outro método de combate utilizado é o ataque tridimensional com resfriamento dos gases. Método criado por bombeiros suecos durante a década de 80 (Grimwood & Desmet, 2003). Esta técnica baseia-se na utilização do jato atomizado ou jato neblinado de curta

duração para resfriar os gases e reduzir a temperatura no ambiente. Vale ressaltar que este método não é utilizado propriamente para extinguir o incêndio (Oliveira, 2005).

Sendo usado para a progressão da entrada dos bombeiros que estão combatendo o incêndio até o local onde se é possível atacar o fogo, realizando o ataque direto até a extinção do foco (CBMDF, 2009). Pode-se utilizar esta forma de aproximação de forma defensiva, para prevenir os efeitos da propagação rápida do incêndio, exemplos do *flashover* e *backdraft* (Oliveira, 2005). Esta técnica possui as suas limitações pelo alcance do jato de água por meio do esguicho e dependendo da intensidade do incêndio, a fumaça fica resfriada somente durante um curto intervalo de tempo. A posição de combate utilizando esta técnica são com os dois joelhos no chão (CBMDF, 2009).



Figura 2.9. Posição para o ataque tridimensional de resfriamento dos gases.
Fonte: CBMDF (2009).

CAPÍTULO 3

3. MONITORAÇÃO DA TEMPERATURA

Esse capítulo trata sobre a solução proposta para realizar treinamentos da percepção dos bombeiros quanto às condições do incêndio e a eficiência do jato de água no combate.

3.1. SOLUÇÃO PROPOSTA

A proposta do trabalho consiste em indicar para os bombeiros as condições do fogo controlado durante o treinamento de combate a incêndio em ambiente confinado. Tendo como premissa ser necessário que os bombeiros no qual irão combater incêndios tenham a percepção necessária da variação de temperatura no ambiente e a eficiência do jato de água atomizado que estão aplicando no ambiente.

Para isto, a solução proposta é a instalação de dois painéis de LEDs, em que o primeiro deles acenderia os LEDs da cor correspondente (conforme a figura 2.2) de acordo com o aumento de temperatura no local de incêndio. A aferição da temperatura será realizada por meio de sensores termopares, no qual fornecerão a informação da temperatura no ambiente em tempo real e as lâmpadas de LEDs serão ligadas de acordo com a temperatura por meio da programação no software Labview (a ser tratado no capítulo seguinte).

São um total de cinco níveis de temperatura: um para a cor verde, dois para cores amarelas e dois para cores vermelhas. A cor verde indica condições de rotina, as cores amarelas indicam condições extremas e as cores vermelhas indicam condições críticas. A faixa de temperatura em que acenderá cada canal de LEDs é programada e poderá ser modificada de acordo o objetivo do treinamento.



Figura 3.1. Painel de cinco canais com as cores vermelho, amarelo e verde.

O segundo painel mostrará a eficiência do jato de água em pulsos com duração entre 1 e 2 segundos, realizado pelo combatente em treinamento com fogo em ambiente controlado. O intuito de mostrar a eficiência é para que os bombeiros possam ter a noção necessária da qualidade do jato de água que estão aplicando para diminuir a temperatura e o fluxo de calor no ambiente e com isso, possam aprimorar a forma como aplicam esse jato de água.

A justificativa para se utilizar o esguicho com jato de água atomizado é devido a técnica recomendada e treinada no CBMDF para o combate de incêndios em ambientes confinados (CBMDF, 2009). Devido ao incêndio estar confinado em um ambiente, existe o excesso de calor e fumaça, fazendo com que ocorra um grande aumento de temperatura em um pequeno intervalo de tempo.

O excesso de água para o combate a este tipo de incêndio pode gerar vapor d'água e consequentemente, mais calor, e além disto, o excesso de água pode danificar bens e patrimônios, principalmente equipamentos elétricos, trazendo ainda mais prejuízos para o proprietário do local em que está ocorrendo o incêndio (CBMDF, 2009).

Este segundo painel possuirá três canais, ligando os LEDs de acordo com a eficiência apresentada pelo jato d'água atomizado. Para um jato ruim, acenderiam os LEDs vermelhos (canal 1), indicando que foi ruim a ação tomada para combater o incêndio e deve-se aprimorá-la. Caso o jato de água seja razoável, seriam ligados os LEDs amarelos, indicando que a eficiência está boa mas ainda não é o suficiente. Se o jato aplicado por

meio do esguicho fosse bom, acederiam as luzes de LEDs verdes, indicando que o jato d'água foi eficiente para combater o incêndio.

Para indicar se o jato de água foi ruim, razoável ou bom, será utilizado como parâmetro a diferença de temperatura entre o momento anterior a aplicação do jato e a mínima temperatura atingida em consequência da ação com o esguicho. As faixas de diferença de temperaturas que ilustram a eficiência do jato atomizado devem ser possível serem ajustadas de acordo com o intuito do treinamento.



Figura 3.2. Painel de três canais com as cores verde, amarelo e vermelho.

A utilização de faixas de temperatura e não de valores de temperatura a serem mostrados tanto no primeiro painel LEDs quanto no segundo painel de LEDs deve-se ao fato do ambiente hostil em que os bombeiros estão sendo exposto durante o treinamento de combate a incêndio em ambiente confinado.

A alta temperatura e o excesso de fumaça e outros gases quentes no ambiente confinado do treinamento, além de causarem estresse físico e mental nos combatentes no qual diminui a capacidade de raciocínio em relação a assimilar as informações que estão sendo mostradas nos painéis de LEDs, a fumaça escura produzida pela combustão do material combustível diminui a visibilidade dentro do contêiner.

3.2. PLANEJAMENTO DA PROGRAMAÇÃO COMPUTACIONAL

De acordo com experimentos realizados por Braga (2015), um incêndio em local confinado comporta-se tendo um aumento de temperatura de forma gradual com pequenas oscilações. Estes experimentos foram realizados conforme cenário descrito na tabela abaixo.

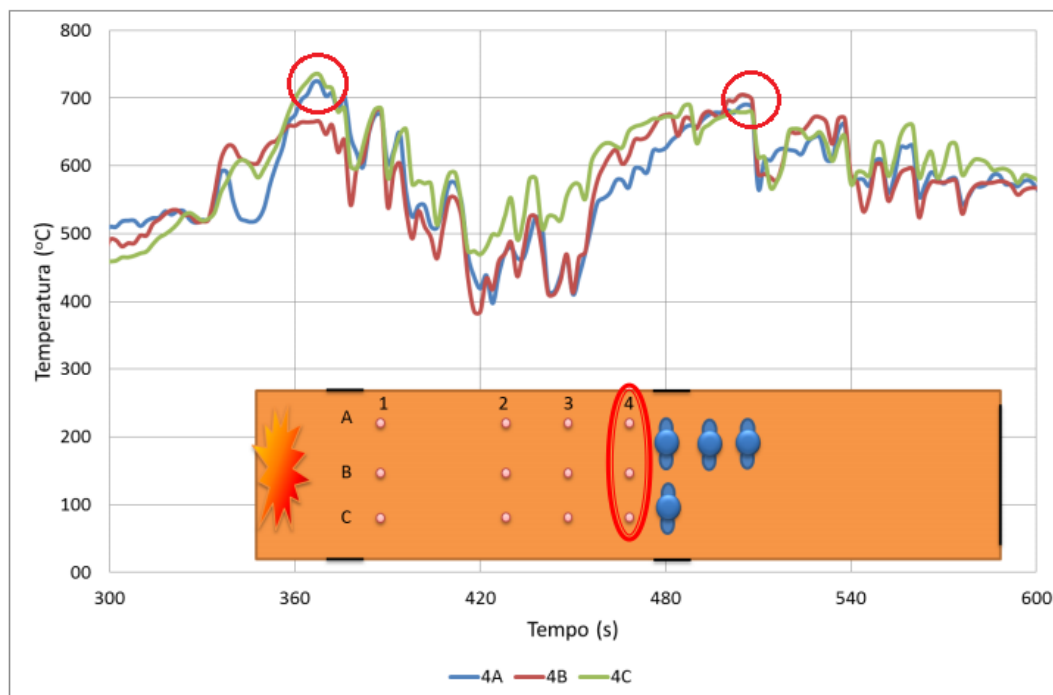
Tabela 3.1. Cenário 1 de treinamento de combate a incêndio em ambiente confinado.

CENÁRIO	PROCEDIMENTOS
Cenário 1	Este cenário foi feito em treinamento de combate a incêndio com monitoramento da temperatura realizado por Braga no ano de 2015. Em que foi realizada a queima de madeira como material combustível, em ambiente confinado de material metálico (contêiner), com pouca ventilação (uma das portas estava fechada e a outra porta aberta apenas na parte de cima). Utilizou-se doze sensores termopares do tipo K em bastão, sendo três sensores de temperatura no teto do contêiner mais próximos do incêndio e com os outros nove sensores termopares sendo instalados a distâncias intermediárias até próximo a localização dos bombeiros. Não foram utilizados os painéis para fornecer a informação da temperatura no ambiente e a eficiência do jato atomizado durante o treinamento. Esperou-se o incêndio chegar ao ápice, com temperatura acima de 700 °C na média dos três sensores próximos aos combatentes em treinamento e aplicou-se o jato de água atomizado, com pressão mínima entre 8 e 9 Bar, mangueiras de 1 ½ polegada e vazão de 30 GPM (CBMDF, 2009). Logo após, quando se verificava que o incêndio estava aumentando a temperatura novamente, aplicava-se novos jatos atomizados até ocorrer uma diminuição drástica da temperatura no ambiente. Com esta diminuição, aplicava-se jatos de água visando a extinção do incêndio. O tempo total do treinamento foi de cerca de 10 minutos até a extinção do incêndio. Os outros cenários utilizados serão descritos na tabela 5.1 do capítulo 5 deste projeto.

Considerando o Cenário 1, com temperaturas acima de 700 °C, ilustrado nos pontos mostrados no gráfico da Figura 3.3, ocorre a aplicação de um jato de água em pulsos com duração entre 1 e 2 segundos. Logo após, ocorreu uma queda brusca de temperatura em um pequeno intervalo de tempo.

Posteriormente, aconteceu um mínimo de temperatura em consequência do jato atomizado, atingindo temperaturas abaixo de 600 °C tendo como referência o segundo ponto ilustrado no gráfico. A temperatura volta a subir novamente, mas para uma

temperatura máxima mais baixa observada do que antes da aplicação do jato de água atomizado, em que observa-se na figura 3.3 que a temperatura estava antes acima de 700 °C e depois atingiu uma temperatura com cerca 680 °C. Assim ocorre sucessivamente até o controle e possível extinção do incêndio.



2015

Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

Figura 3.3. Gráfico ilustrando a aplicação do jato d'água para o Cenário 1.
Fonte: Experimentos realizados por Braga (2015).

A programação foi dividida em dois blocos: um para o primeiro painel, em que os canais de LEDs iriam acender de acordo com o aumento de temperatura e outro para o segundo painel, no qual se mediria a eficiência do jato de água do momento da ação até a temperatura mínima atingida.

Para a programação do primeiro painel, seria necessário apenas medir a temperatura próxima aos combatentes em treinamento e indicar os canais da placa de LEDs quais canais deveriam ser ligados e quais deveriam ser desligados de acordo com as temperaturas programadas. A programação iria ser feita de forma que esses níveis de temperaturas para ligar os LEDs de cada canal fossem ajustáveis de acordo com o objetivo do treinamento.

Estabeleceu-se as faixas de temperatura para acender cada canal de LED do primeiro painel de acordo conforme a tabela 3.2. Utilizou-se como parâmetro para a escolha dos valores de faixas de temperatura para o primeiro painel de LEDs, estudos e experimentos em treinamentos de combate a incêndio em ambiente confinado realizados por Braga (2015), conforme o Cenário 1.

Tabela 3.2. Faixas de temperatura estabelecidas para acender os canais de LED do primeiro painel.

VARIÁVEL	FAIXA DE VALORES	CANAIS A SEREM ATIVADOS
T1	50 °C - 100 °C	Canal 1: verde.
T2	100 °C - 150 °C	Canais 1 e 2: verde e 1º amarelo.
T3	150 °C - 200 °C	Canais 1, 2 e 3: verde, 1º e 2º amarelo.
T4	200 °C - 250 °C	Canais 1, 2, 3 e 4: Verde, 1º amarelo, 2º amarelo e 1º vermelho.
T5	> 250 °C	Canais 1, 2, 3, 4 e 5: Verde, 1º amarelo, 2º amarelo e 1º vermelho e 2º vermelho.

Em relação ao segundo painel, precisaria-se de uma solução um pouco mais complexa, pois seria necessário um processamento de dados em tempo real. Ou seja, a medida que são fornecidos os valores de temperatura por meio dos sensores, estes deveriam ser verificados se trata-se de um jato de água atomizado e posteriormente, encontrar o valor mínimo de temperatura para comparar com o valor de temperatura anterior ao jato d'água e medir a eficiência.

Para que isso fosse possível, inicialmente o programa deveria possuir memória. Isto se deve ao fato que ao encontrar a temperatura mínima, mensurada em tempo real por meio dos sensores de temperatura, seria comparada com a temperatura antes da aplicação do jato de água para se verificar a eficiência.

A melhor forma de implementar essa memória seria por meio de uma lista dinâmica ou mutável. Consiste em armazenar dados em lista, no qual a medida que os dados vão sendo fornecidos eles são “enfileirados”, ou seja, são endereçados de forma que conforme os dados vão aparecendo eles vão sendo armazenados de forma ordenada.

Como premissa, será estabelecido que serão utilizados o primeiro e o último valor da lista como sendo a temperatura média atual e a temperatura antes da aplicação do jato atomizado, respectivamente. Sendo que não será preciso armazenar todos os dados de temperaturas fornecidos, mas apenas em intervalos de tempos suficientes para se verificar a presença de jato de água aplicado pelo esguicho.

Para isto, será utilizada uma lista dinâmico do tipo FIFO (*First In, First Out*), sendo a política deste tipo de lista dinâmica ou fila que o primeiro valor a entrar é o primeiro valor a sair da lista.

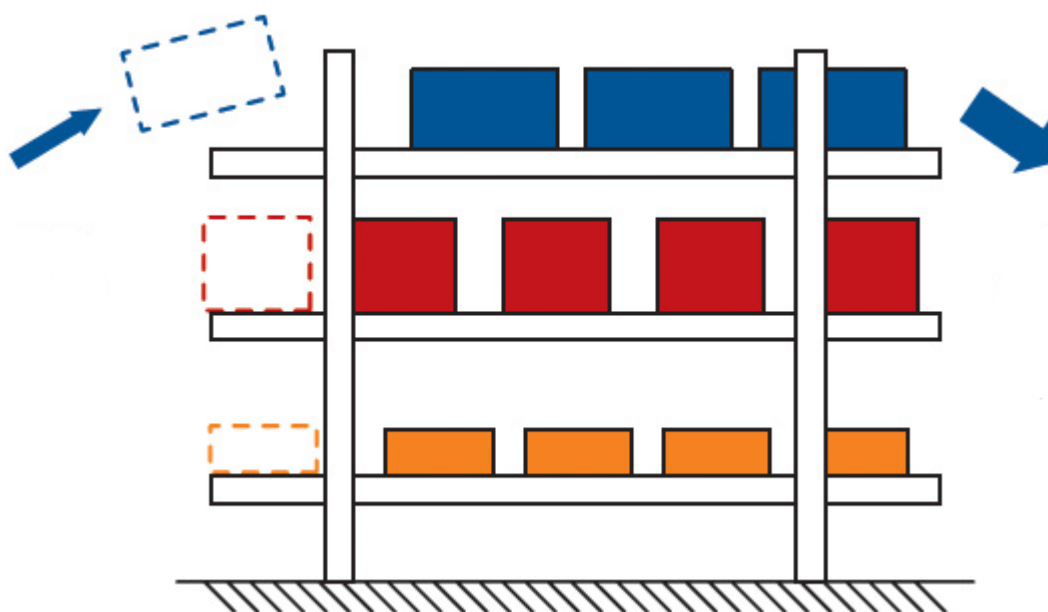


Figura 3.4. Ilustração análoga de memória em pilha.
Fonte: <http://certificacaomahle.com.br/>

Após a implementação da FIFO, seria necessário para a programação da mensuração da eficiência do jato de água criar uma forma de se identificar o que significaria um jato de água tendo como parâmetro apenas a temperatura. Justifica-se, pois, em um incêndio, mesmo que a temperatura aumente de forma progressiva, existem variações de temperatura que poderiam ser identificadas como um jato d'água aplicado pelo bombeiro militar, mas trata-se apenas de uma diminuição momentânea da temperatura, devido a movimentação do combatente dentro do local ou da circulação da camada de fumaça no ambiente.

A solução encontrada para que se pudesse identificar o jato d'água aplicado foi estabelecer um limiar de temperatura, no qual abaixo daquela temperatura o programa não identificaria como um jato, mas apenas uma variação momentânea de temperatura.

Esse limiar de temperatura foi decidido como sendo de 10 °C de variação de temperatura. A opção por esse valor de limiar levou-se em consideração experimentos realizados por Braga (2015), em que variações de temperatura abaixo de 10 °C em um curto intervalo de tempo podem ocorrer sem que se tenha aplicado um jato de água atomizado.



Figura 3.5. Jato de água aplicado sobre um incêndio de grandes proporções.

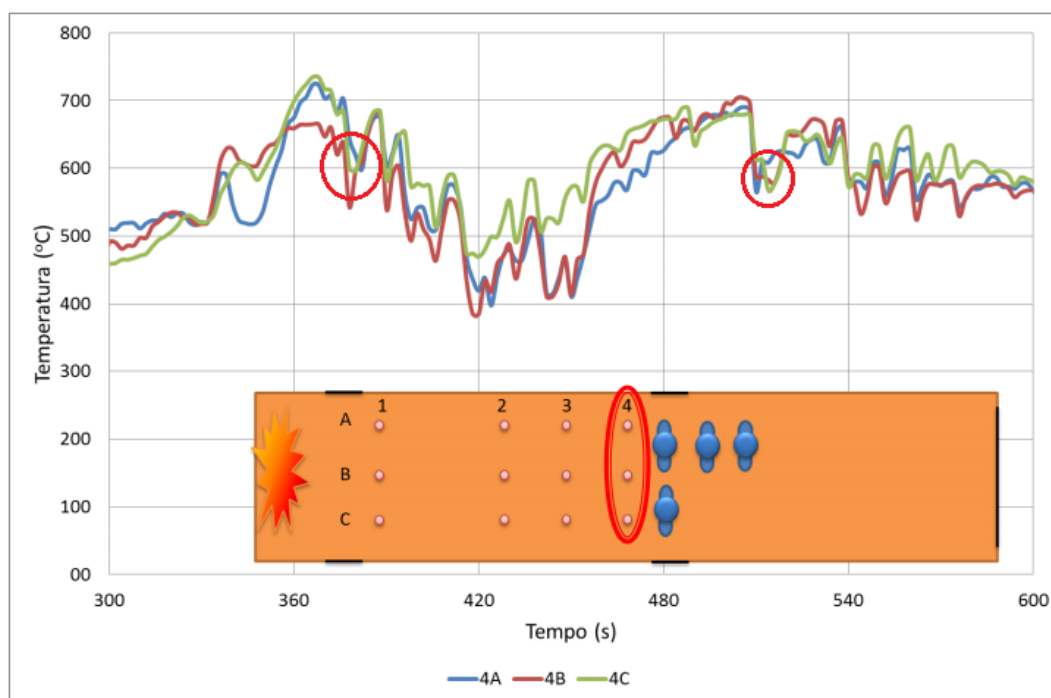
Fonte: <http://www.diariodolitoral.com.br/cotidiano>

A memória em fila FIFO fornece dados de temperatura em intervalos de tempo constantes e tem-se como parâmetro a temperatura mínima para se identificar como um jato d'água, precisaria agora saber qual a temperatura mínima atingida após a aplicação do jato de água atomizado.

No ambiente descrito no Cenário 1, nos círculos vermelhos desenhados na Figura 3.6, identifica-se que após a aplicação do jato pulsado existe um mínimo de temperatura atingida, cerca de 560 °C de acordo com o segundo círculo desenhando no gráfico da figura 3.6, logo depois a temperatura começa a aumentar novamente até atingir temperatura de cerca de 680 °C. Tendo como premissa que um jato de água atomizado tem intervalos de duração entre 1 e 2 segundos, no qual é um pulso insuficiente para controlar ou apagar a maioria dos incêndios.

Este ponto na curva em que a temperatura começa a subir, mostrados no gráfico da figura 3.6, é o que torna possível saber a temperatura mínima atingida após a aplicação do jato. Pois ao identificar este ponto de começo de subida da curva, é possível identificar que o momento anterior a este é quando a temperatura atingiu o seu menor valor.

Com isso, torna-se viável mensurar a eficiência do jato de água aplicado, por meio da diferença de temperatura do momento anterior a aplicação do jato e a temperatura mínima atingida em consequência do jato de água pulsado.



2015

Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

Figura 3.6. Ilustrando o ponto em que a temperatura começa a subir no Cenário 1.
Fonte: Experimentos realizados por Braga (2015).

Então, para o primeiro painel necessitaria apenas fornecer a informação da temperatura do ambiente fornecida pelos sensores de temperatura, calcular a média destas temperaturas e ligar as luzes de LEDs correspondentes.

Já para o segundo painel, precisaria-se de uma memória dinâmica FIFO, em que não seria armazenados todos os dados de temperaturas fornecidos, mas somente em intervalos de tempos para se verificar a presença de jato de água aplicado pelo esguicho. Sendo que após estas verificações os primeiros dados armazenados seriam descartados.

Estabeleceu-se um limiar de temperatura mínimo para se identificar como sendo um jato d'água e sabendo qual é o ponto mínimo de temperatura após a aplicação do jato, seria viável encontrar um algoritmo para medir a eficiência do jato de água pulsado aplicado pelo combatente no incêndio.

3.3. CONDIÇÕES ADVERSAS DE INCÊNDIOS EM AMBIENTES CONFINADOS

Um incêndio em local compartimentado pode apresentar propagação rápida devido à ação da fumaça quente e inflamável, em que os materiais presentes no ambiente entram em ignição após sofrerem a pirólise, sendo este o processo de quebra das moléculas em

consequência da ação do calor. Este fenômeno de rápida propagação do incêndio, quando o incêndio está generalizado, é conhecido como *Flashover* (CBMDF, 2009).

De acordo com Braga et al. (2016) a diferença de temperatura entre um bombeiro agachado (0,9 m) e em pé (1,5 m) pode chegar a até 550 °C em local confinado. Por isso é recomendado que o bombeiro ou o combatente do incêndio trabalhe agachado, com altura abaixo de 1,0 m (CBMDF, 2009).

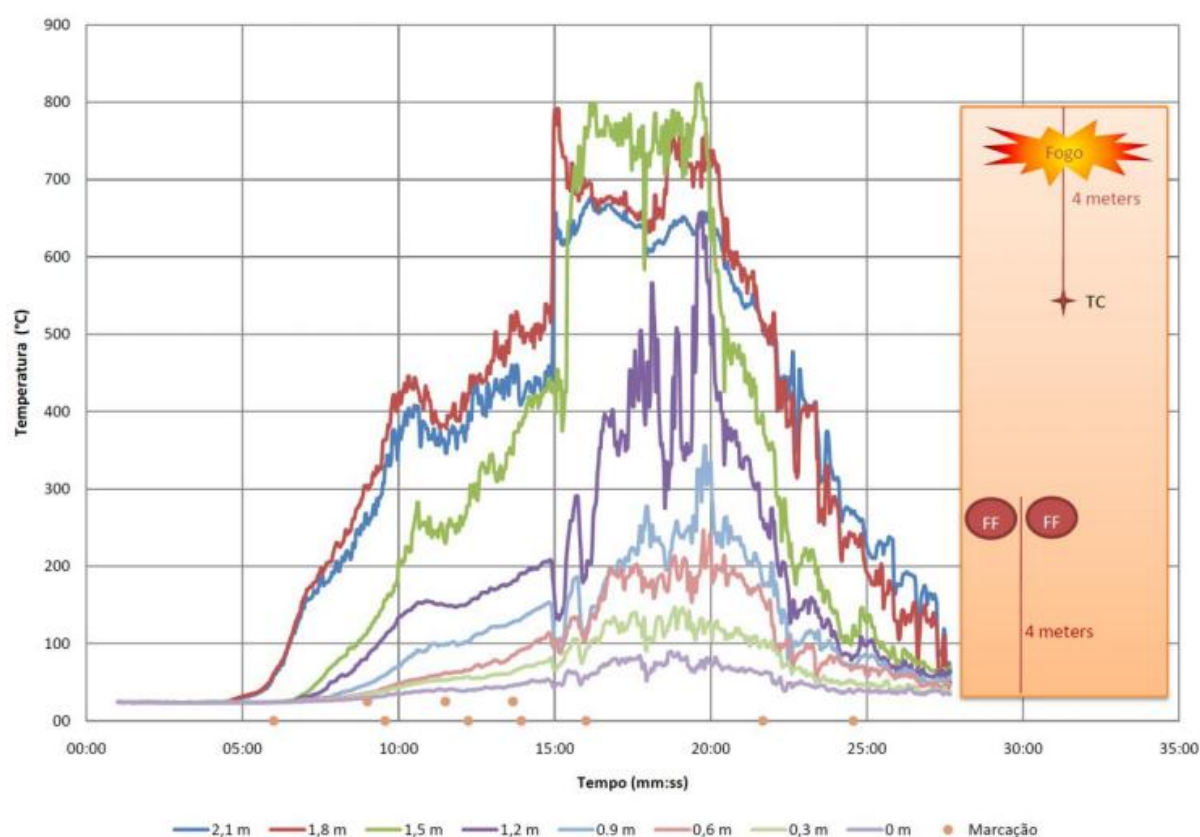


Figura 3.7. Gráfico mostrando a temperatura em um incêndio a diferentes alturas.
Fonte: Braga et al., 2016.

Conforme ilustrado na Figura 3.7, a temperatura mesmo a alturas menores como em 0,6 m pode ultrapassar 200 °C. Tendo em vista esta informação, os painéis devem suportar, no mínimo, esta temperatura.

Outro fator importante a ser considerado, é a fumaça produzida durante a pirólise. De acordo com CBMDF (2009), esta fumaça é quente, inflamável, móvel, opaca e tóxica. Apesar de que em incêndios em locais confinados a fumaça tende a subir, atingindo o teto e espalhando horizontalmente até ser limitado pelas paredes, deve-se levar em consideração que haverá fumaça espalhada em todo o ambiente.



Figura 3.8. Ilustração da dinâmica da fumaça em um incêndio em local confinado.
Fonte: Le guide national de référence Explosion de Fumées – Embrassement Généralisé Éclair.

Com isso, faz-se necessário a construção de painéis que suportem na parte externa a temperaturas acima de 200 °C e que possam ter a vedação necessária para que não entre fumaça na parte interna dos painéis e que suportem em todo o seu volume a altas temperaturas causadas pela fumaça quente. Além disto, deve-se ser elaborada um sistema com os LEDs que suportem a temperaturas razoáveis, pois mesmo que aja um certo bloqueio do fluxo de calor por meio da parte externa dos painéis, ainda haverá uma elevação de temperatura na parte interna.

CAPÍTULO 4

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Esse capítulo explica a montagem do experimento, desde as primeiras etapas, até a construção dos painéis e a parte de programação. São apresentados aqui os equipamentos, bem como os softwares utilizados.

4.1. MONTAGEM FÍSICA, *HARDWARE* E *SOFTWARE*

Para realizar a montagem física, do hardware e do software faz-se necessário observar algumas premissas. Um software adequado para a realização do projeto seria o software Labview, pelo fato de o módulo que recebe a informação dos termopares e o *relay* que irá ligar os diodos emissores de luz serem da National Instruments, mesma Empresa do software Labview. Sendo, por isso, compatíveis e apresentariam uma menor quantidade de erros.

Outro ponto a ser observado, são que os painéis deveriam ser fixos na lateral do contêiner ou ficassem apoiados no piso porém de forma que pudessem estar visíveis pelos combatentes que iriam utilizá-los em treinamento, devido a uma maior temperatura em alturas superiores a 1,0 metro. Além disto, os painéis deveriam suportar temperaturas relativamente altas, acima de 200 °C, e possuir vedação para que a fumaça não penetrasse no interior dos painéis.

4.2. PROGRAMAÇÃO NO LABVIEW

O software utilizado para a programação foi um programa chamado Labview. Nele é possível criar aplicações customizados, no qual o usuário define como deve funcionar o algoritmo. Sendo de fácil aplicação, por ser possível interagir dados ou sinais de equipamentos ou sensores, fazendo com que ocorra o recebimento dos dados e o

processamento em tempo real. Além desta principal função, este software pode gerar gráficos e armazenar dados em arquivos externos.

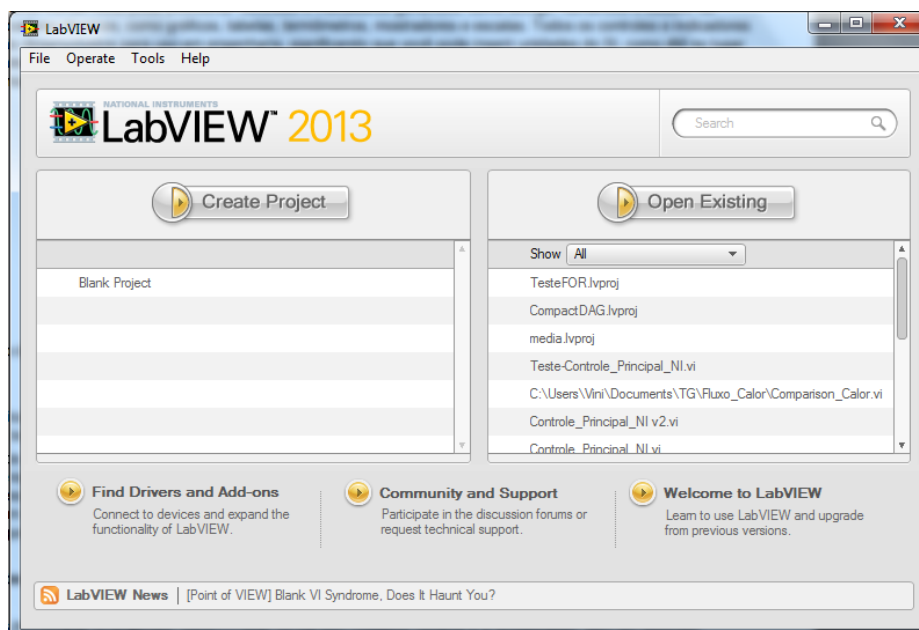


Figura 4.1. Página inicial do *software* Labview.

4.3. PROGRAMAÇÃO PARA O PRIMEIRO PAINEL

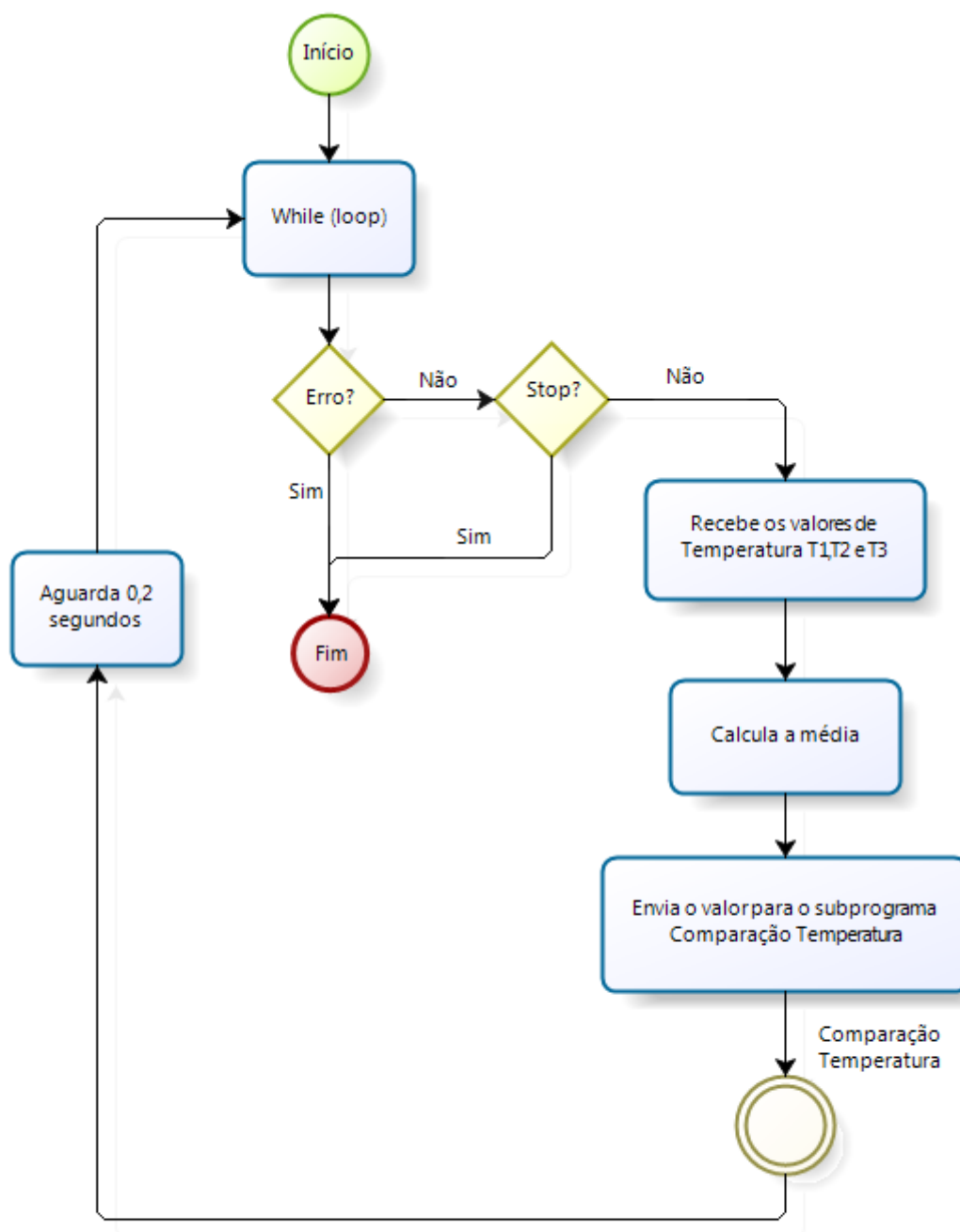
O objetivo do primeiro painel é mensurar a temperatura a uma determinada distância da porta de entrada do contêiner e em três pontos distintos. Ou seja, estes três pontos estariam a uma mesma distância da porta de entrada, em uma reta. Após isto, o programa deve calcular a média destes três pontos e deve-se ligar os LEDs correspondentes para determinada temperatura.

Cogitou-se inicialmente medir o fluxo de calor, porém devido a dificuldades operacionais em manter os sensores de fluxo de calor funcionando por necessitarem de resfriamento contínuo por meio de um sistema de resfriamento de água, acabou sendo descartada a ideia.

Para iniciar a programação, seria necessário saber com que frequência o programa deveria ser executado. Pois seria executado por meio de um *while*, função em que o programa só iria parar de executar caso fosse o desejo do usuário ou por erros dentro do próprio programa ou erros no módulo dos sensores termopares e módulo *relay* para ligar os LEDs.

Considerando o ambiente descrito no Cenário (Tabela 3.1), para se observar todas as partes do processo em incêndios em contêineres monitorados por meio de sensores de temperatura: temperatura anterior ao jato de água, momento de queda de temperatura e a temperatura mínima atingida; seria necessário a averiguação das temperaturas a cada 0,2

segundos. Ou seja, o programa necessitaria ser executado a uma frequência de 5 ciclos por segundo.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 4.2. Algoritmo ilustrando o funcionamento inicial da programação.

O subprograma que seleciona os LEDs que deverão ser ligados está mostrado na Figura 4.2. como o subprograma Comparação Temperatura, ao ser aberto, o programa possui o seguinte formato:

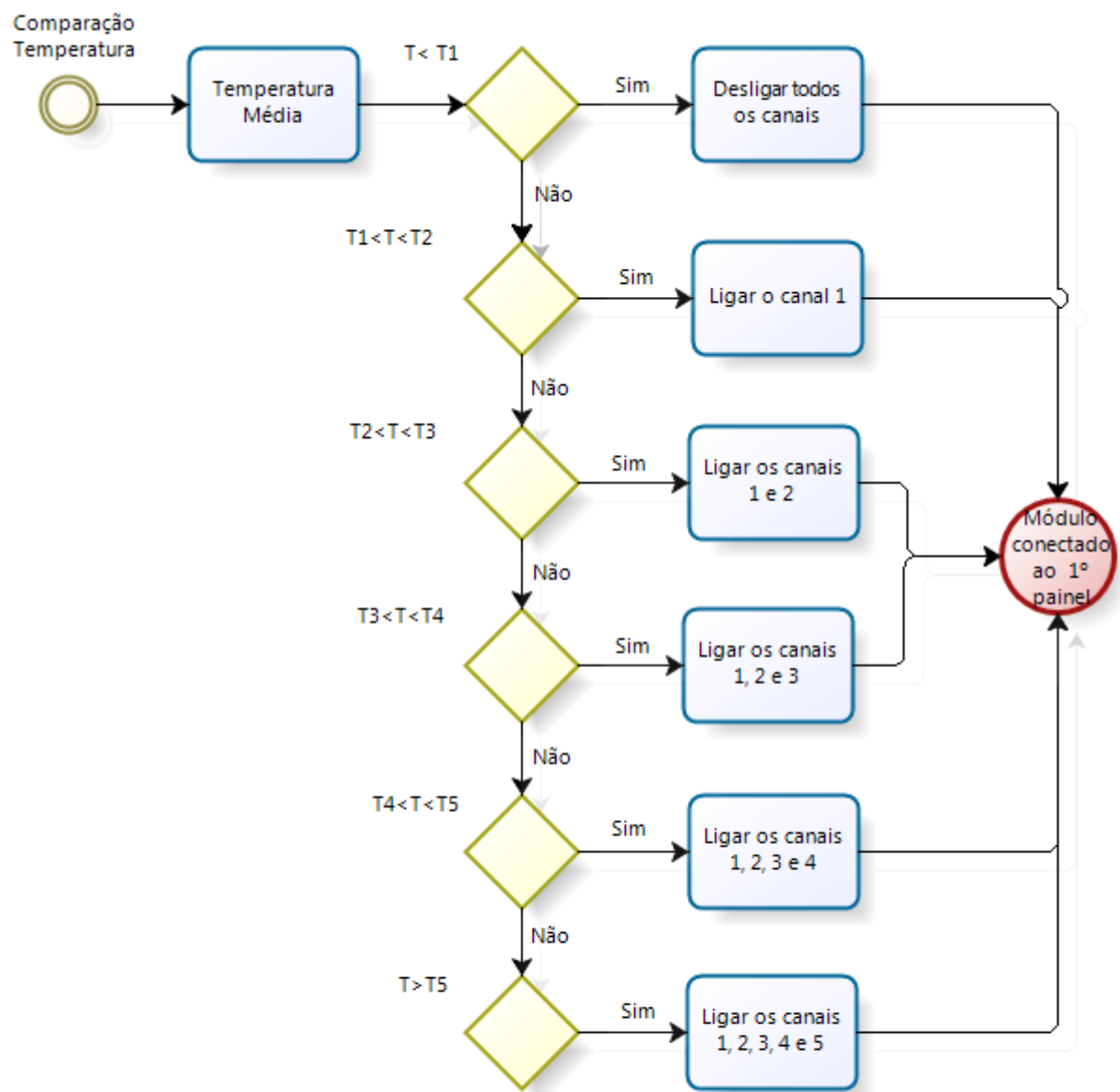


Figura 4.3. Subprograma que realiza a seleção dos LEDs que deverão ser ligados.

Conforme pode ser visto na Figura 4.3.2, este subprograma funciona de forma comparativa. Ou seja, conforme recebe a informação da temperatura média, este compara com valores pré-estabelecidos de temperatura e seleciona o canal de LEDs que deverão ser ligados.

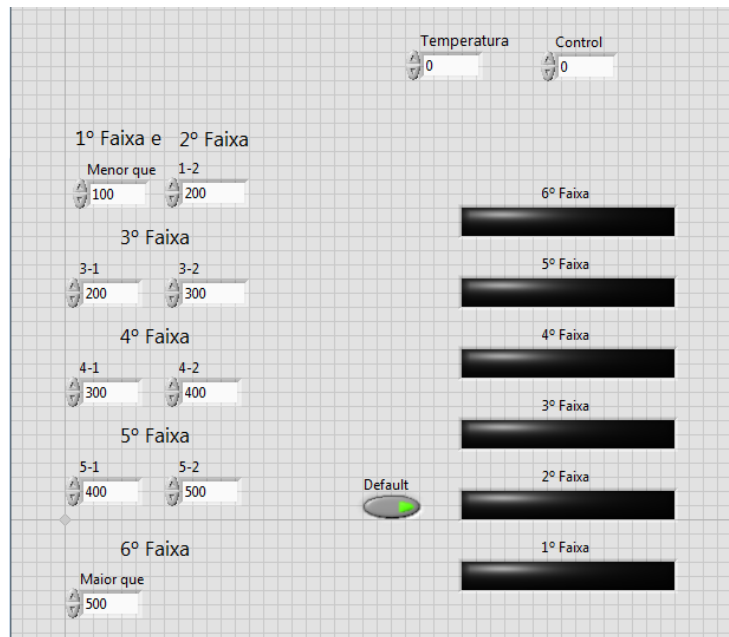


Figura 4.4. Painel do subprograma que seleciona os valores de temperatura.

4.4. PROGRAMAÇÃO PARA O SEGUNDO PAINEL

O intuito da criação do segundo painel foi de medir a eficiência do jato de água atomizado aplicado pelo combatente do incêndio. Este painel possui a mesma frequência (5 ciclos/segundo) e foi utilizado o mesmo conceito de aferição de temperatura do primeiro painel e calculada a média.

A programação do segundo painel começa com a criação da memória em uma lista FIFO de chamada por meio do subprograma chamado Pilha. Como os dados seriam fornecidos por três sensores termopares do tipo K em bastão, no qual calcularia-se a média das temperaturas e ocorreria o armazenamento do valor da média calculada, poderia ser utilizado apenas um vetor ou *array* (nomenclatura usualmente utilizada) para armazenar este valor da média da temperatura.

Com isso, este valor calculado da temperatura média é enviado para o subprograma Pilha que realizar toda a parte de processamento de dados da temperatura média para o segundo painel, sendo estas: criação do vetor, armazenamento dos valores no vetor ou *array*, o fornecimento do dado de temperatura de antes da aplicação do jato atomizado e a entrega do valor da temperatura mínima atingida em consequência deste jato d'água.

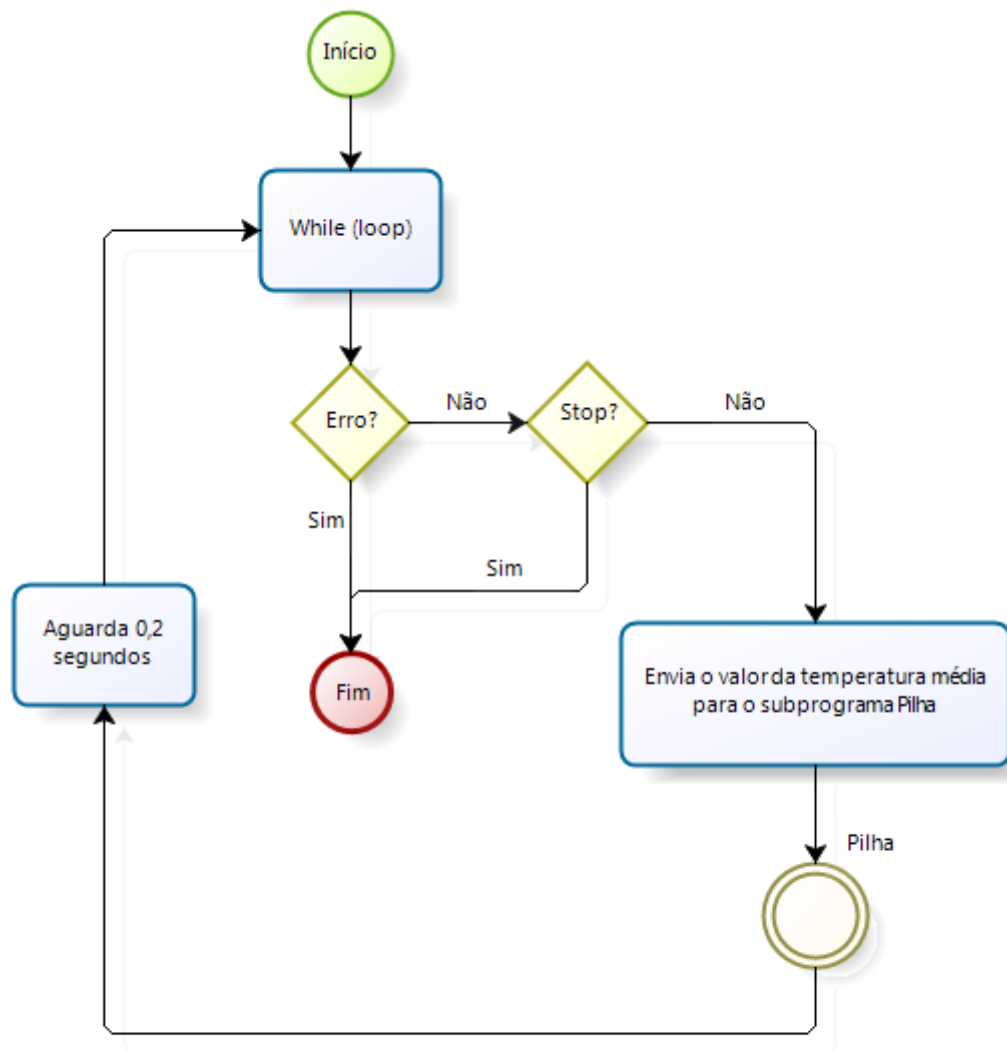


Figura 4.5. Algoritmo mostrando o Início da programação para o segundo painel.

Para criar o vetor com valores iniciais nulos, utiliza-se um subprograma chamado de Cria Array. Este subprograma está localizado dentro do subprograma Pilha. O subprograma Cria Array é iniciado quando a variável Reset for igual a "0". Isto ocorre ao iniciar o programa, por meio de uma chave liga/desliga de preferência do usuário ou quando ocorre um jato de água, em que é feito o cálculo da eficiência do jato atomizado e logo após o acendimento das luzes de LEDs referente a eficiência correspondente do jato d'água ocorre a reinicialização do vetor ou *array*.

Tendo em vista não se saber a quantidade de dados de temperaturas que deveriam ser armazenadas para verificar se ocorreu um jato d'água, deixou-se de livre escolha ao usuário. Estabeleceu-se como premissa que independentemente do tamanho escolhido do

array, sempre se compararia o valor de temperatura atual com o último valor presente no vetor.

Isto implicaria que considerando a informação da temperatura no ambiente sendo fornecida a cada 0,2 segundos, um vetor com capacidade para 10 dados de temperatura faria a diferença entre a temperatura presente com a temperatura medida há dois 2 segundos atrás. Após a escolha do tamanho do array, o valor da temperatura média é inserido no valor inicial do vetor, ou seja, no `array[0]`.

Caso a variável `Reset` seja igual a “1”, executa-se o subprograma *Pilha*. Este programa não reinicializa os valores da fila FIFO, fazendo com que o valor da temperatura média seja armazenado no vetor e o novo valor de temperatura média seja o valor inicial do array. Em consequência, criando uma lista dinâmica.

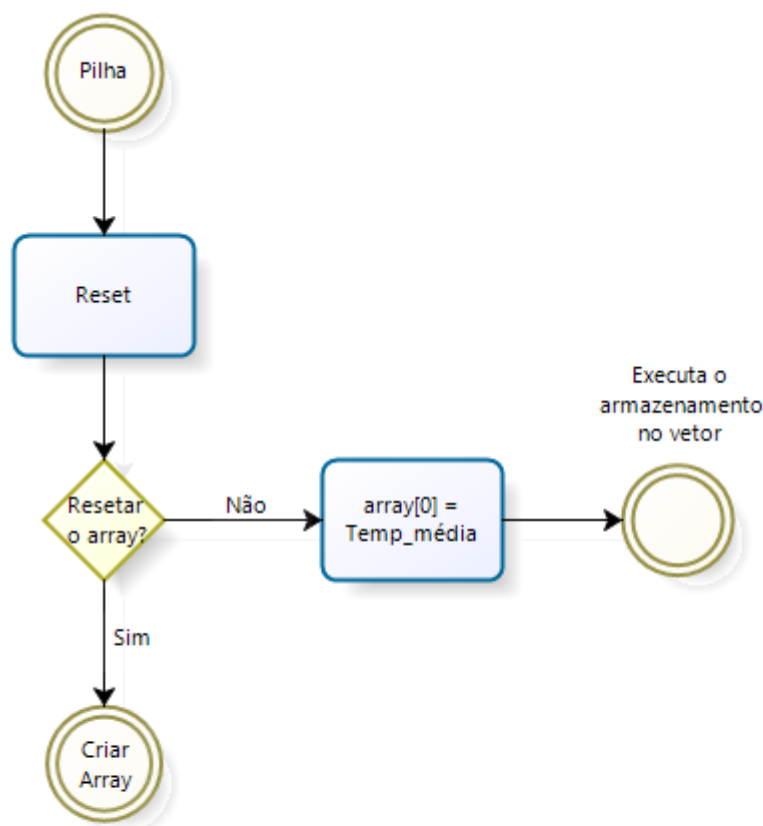


Figura 4.6. Algoritmo ilustrando o início do subprograma *Pilha*.

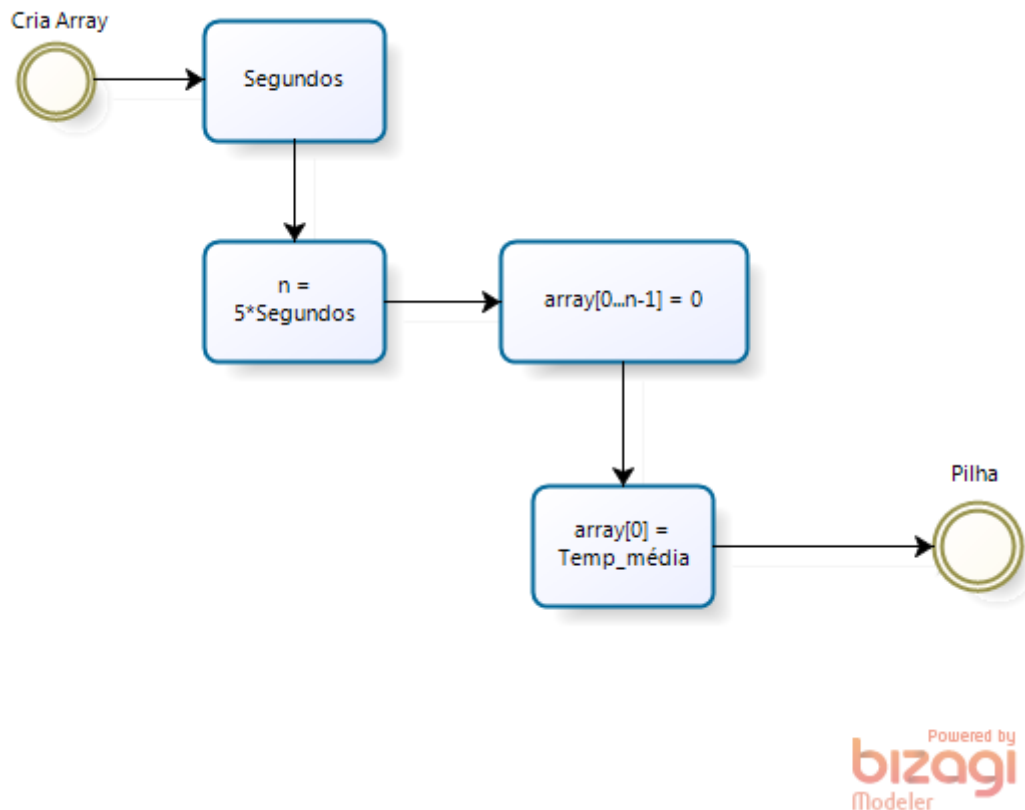


Figura 4.7. Algoritmo mostrando o funcionamento do subprograma que cria o *array*.

Mesmo após o início do programa o tamanho do vetor poderá ser ajustado, conforme for a necessidade. Porém, não é aumentado o seu tamanho de forma ilimitada conforme os dados vão sendo armazenados, por isso a criação da memória em FIFO, realizado por meio do subprograma chamado Pilha.

Quando a última informação de temperatura é comparada com a temperatura atual no ambiente, o programa entende que esta informação não será mais utilizada. Em consequência, descarta-se o valor antigo, no qual a temperatura anterior a última informação de temperatura do *array* assume a sua posição, sendo comparada com a nova temperatura atual.

Este ciclo de comparação de temperaturas para verificar a existência de jato d'água ocorre a cada 0,2 segundos. Então, funcionaria como um verificador da derivada, identificando a existência de decaimento da temperatura em um curto intervalo de tempo.

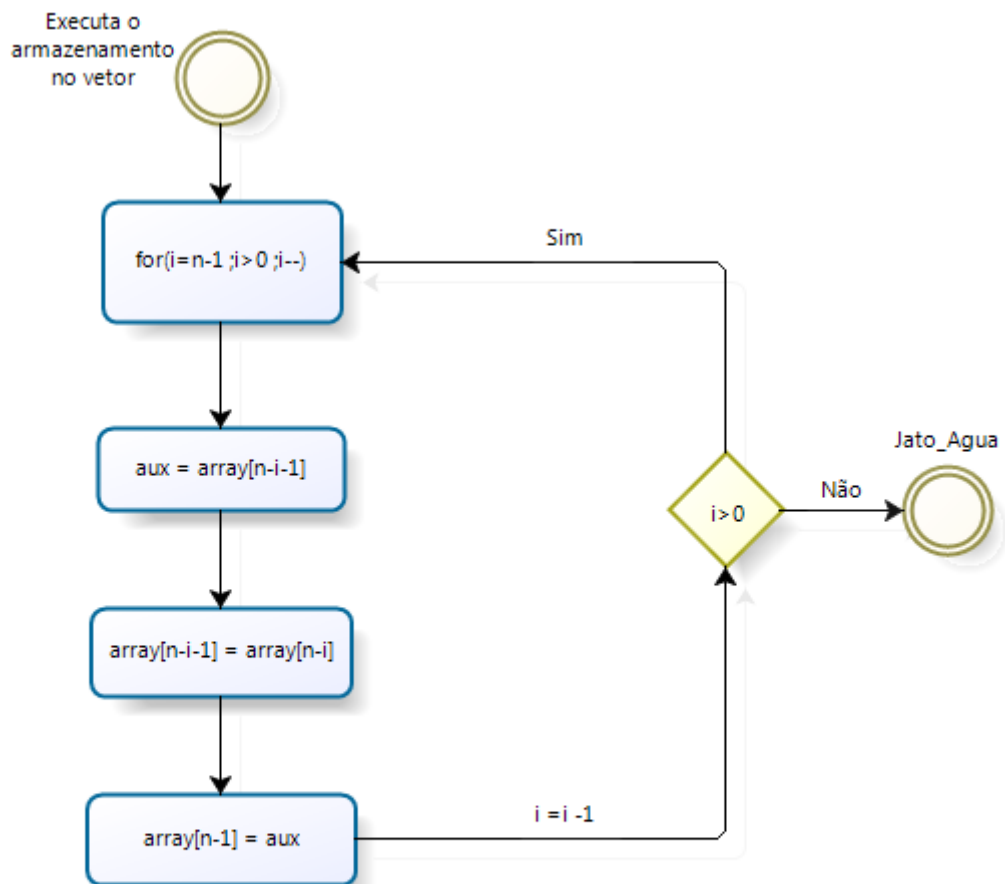
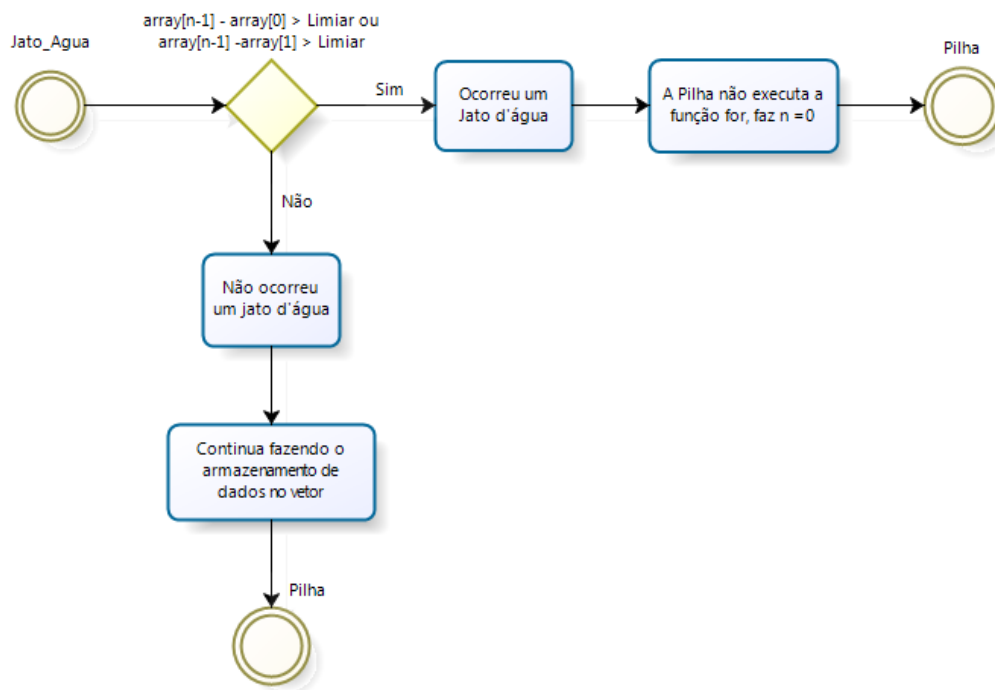


Figura 4.8. Subprograma que cria a memória em forma da lista FIFO.

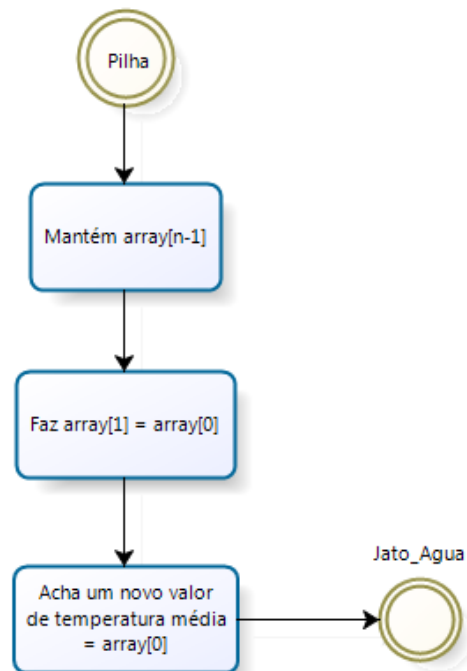
O subprograma denominado de Jato_Agua faz a subtração entre a última temperatura do *array* e a temperatura atual, no qual se verifica se o valor é superior ao limiar de temperatura para saber se ocorreu a existência do jato d'água. Ainda, verifica se a diferença de temperatura entre o último valor e o valor anterior ao atual da temperatura é menor que o limiar, para evitar erros.

Se um dos dois casos for positivo, confirma-se que houve a existência de um jato d'água e parte-se para a próxima etapa: saber qual a temperatura mínima atingida. Em consequência, o subprograma Pilha para de eliminar o último valor de temperatura do *array* por entender que aquele valor trata-se da temperatura antes da ação do jato de água com o esguicho.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 4.9. Algoritmo mostrando a identificação da ocorrência de jato d'água

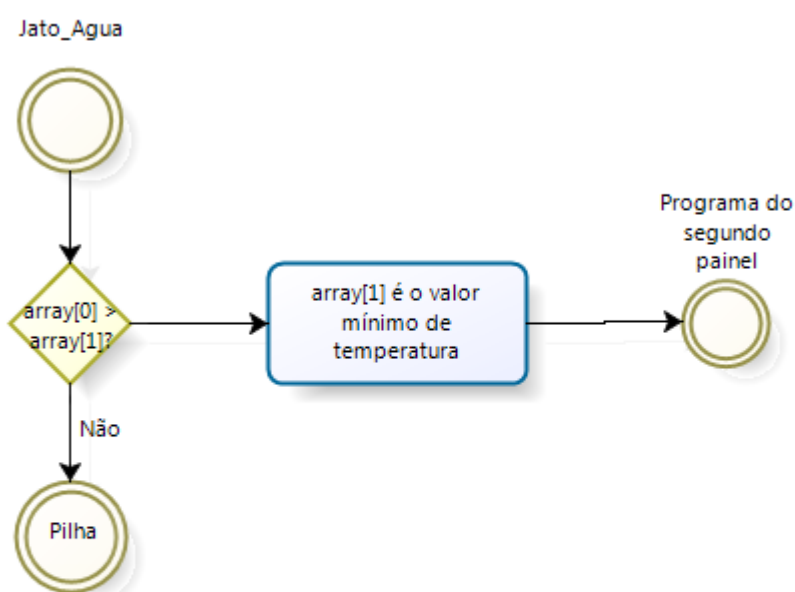


Powered by
bizagi
Modeler

Figura 4.10. Algoritmo da função Pilha após a identificação do jato atomizado.

Logo após, é verificado se a temperatura atual é maior que a temperatura anterior a atual. Caso a resposta seja falsa, o vetor armazenará este valor atual e receberá um novo valor de temperatura para que seja feita a comparação. Ao se fazer isso, o programa está buscando uma nova temperatura que seja maior que o valor atual de temperatura mensurado, para se identificar o momento em que a temperatura começa a subir e saber se a temperatura anterior a este momento trata-se do menor valor de temperatura.

Se a resposta for positiva, o programa identifica que a temperatura começou a subir após a queda de temperatura devido ao jato de água e com isso, detecta o menor valor de temperatura como sendo à temperatura anterior a temperatura atual.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 4.11. Algoritmo da busca do menor valor de temperatura devido ao jato d'água.

As consequências após a detecção da existência do jato d'água e encontrado o menor valor de temperatura são que o programa acende os LEDs correspondentes a diferença de temperatura entre o momento anterior a aplicação do jato d'água e o menor valor de temperatura encontrado em consequência da aplicação do jato de água atomizado. Determina-se, então, a eficiência do jato de água aplicado, acendendo os LEDs correspondentes.

As faixas de valores de temperaturas para o jato de água ser considerado ruim, razoável ou bom são conforme for definido pelo usuário. Considerando estudos e

experimentos realizados por Braga (2015), ocorridos conforme o Cenário 1, definiu-se as faixas de temperatura para a eficiência do jato de água atomizado e respectivos canais a serem ativados conforme a Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Faixas de valores da eficiência do jato d'água e canais ativados para o segundo painel.

VARIÁVEL	FAIXA DE VALORES	CANAIS A SEREM ATIVADOS
Limiar	< 10 °C	Nenhum canal ativado.
$\Delta T1$	10 °C - 50 °C	Canal 1: vermelho
$\Delta T2$	50 °C - 150 °C	Canais 2: amarelo.
$\Delta T3$	> 150 °C	Canais 3: verde.

Além disto, pelo fato do programa ser executado a cada 0,2 segundos fez-se necessário com que o *while* pausasse a execução deste segundo bloco durante um certo intervalo de tempo definido pelo usuário, para que fosse o possível a visualização pelo bombeiro militar da eficiência do seu jato de água aplicado por meio do esguicho. Logo após este tempo de espera, são excluídos todos os valores temperaturas do *array*, no qual fica vazio para ser preenchido novamente com novos valores de temperaturas. Por último, coloca-se a variável Reset igual a "0".

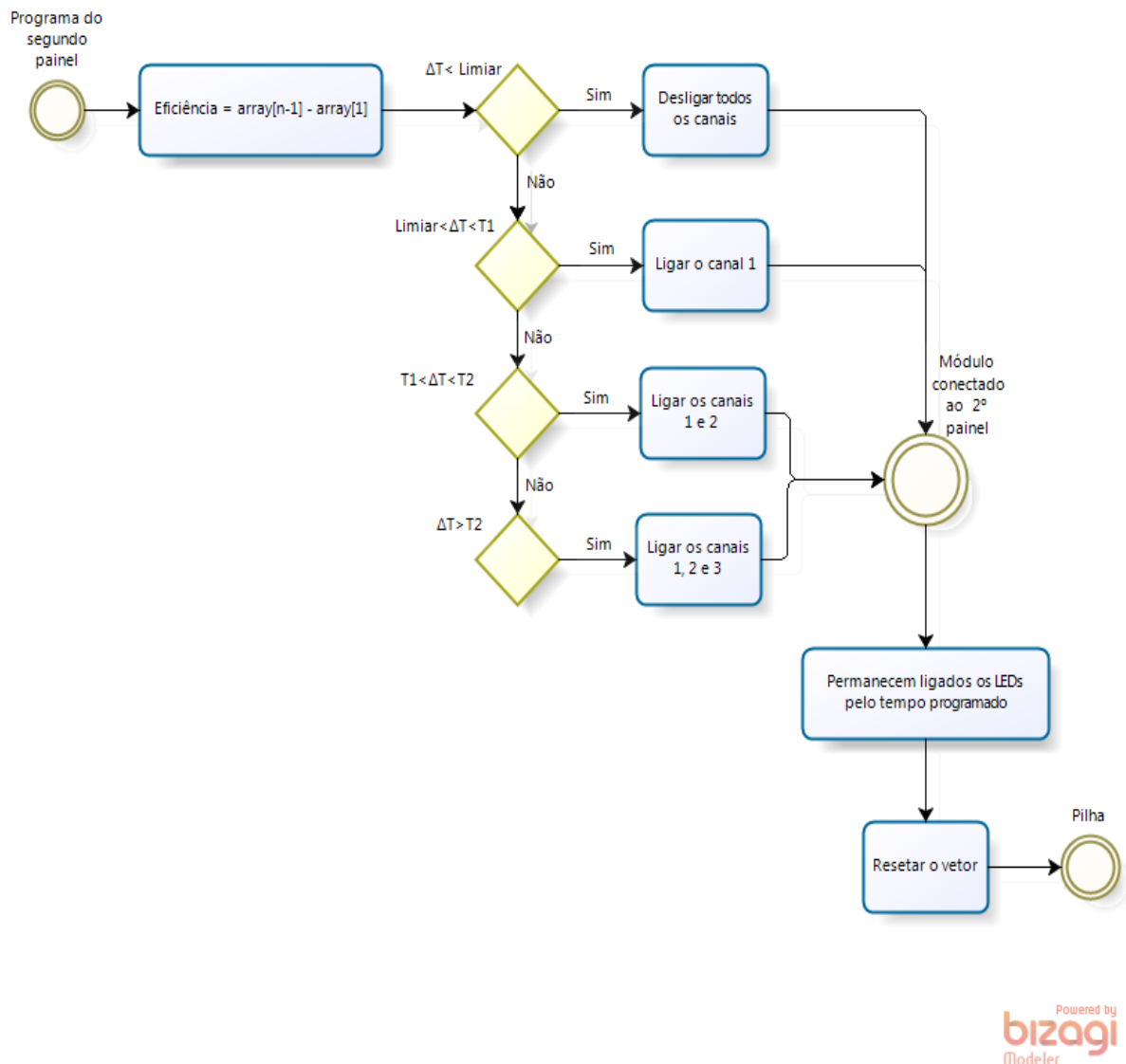


Figura 4.12. Algoritmo do cálculo da eficiência.

4.5. ARMAZENAR DADOS

Para que se possa verificar se os dados de temperatura estão coerentes com o acendimentos das luzes de faixas de temperatura e se a eficiência do jato de água real está de acordo com o apresentado na programação, é gerado um gráfico em que se pode acompanhar a variação de temperatura no decorrer do experimento e são armazenados os seguintes valores de temperatura: as temperaturas dos três sensores termopares, a média da temperatura dos sensores, a temperatura antes e depois da aplicação do jato de água pelo esguicho.

Além disto, são colocadas em memória as eficiências correspondente dos jatos d'água devido a diferença de temperatura de antes e depois da ação realizada por meio do esguicho, o número do jato de água em relação a respectiva eficiência do jato, são

colocados o número: “0” para nenhuma identificação de jato atomizado ou eficiência abaixo do mínimo estabelecido com o limiar, “1” para eficiência ruim, “2” para eficiência razoável e “3” para boa eficiência. Estes dados são armazenados em uma planilha posteriormente salva em Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Temperatura0 (°C)	Temperatura1 (°C)	Temperatura2 (°C)	Temp_Média (°C)	Temp_Antes (°C)	Temp_Atual (°C)	Eficiência (°C)	Nº de Jato d'água	Marcador	H :	M :	S
2	245,1929734	183,7326915	275,4404684	234,7887111	0	-0,351558298	0,620298088	0	0	0	0	0
3	468,5903719	350,7022106	526,7332984	448,6752936	0	-0,351558298	0,351558298	0	0	0	0	0
4	645,4706037	484,1250695	726,9351175	618,8435969	-0,351558298	448,675293	0,351558298	0	0	0	0	0
5	760,2917335	570,4070255	854,8318045	728,5101878	234,7887115	618,8435669	0	0	0	0	0	0
6	799,785248	599,4958624	899,7920696	766,3577267	448,675293	728,5101929	0	0	0	0	0	0
7	761,1674822	571,3093787	856,9669328	729,8145979	618,8435669	766,3577271	0	0	0	0	0	0
8	648,7373936	486,8666425	730,1777064	621,9272475	728,5101929	729,8145752	0	0	0	0	0	0
9	472,4268155	354,6053883	530,7555638	452,5959226	766,3577271	621,9272461	0	0	0	0	0	0
10	249,013634	187,5977301	280,503092	239,038152	766,3577271	452,5959167	144,430481	0	0	0	0	0
11	2,340386225	2,358235176	2,246860455	2,315160619	766,3577271	239,038147	313,7618103	0	0	0	0	0
12	-245,1887609	-183,9676544	-275,2833835	-234,8132663	766,3577271	2,315160513	527,3195801	0	0	0	0	0
13	-468,3460952	-350,9570025	-527,04298	-448,7820259	766,3577271	-234,8132629	764,0425415	0	0	0	0	0
14	-645,8357282	-484,2840214	-726,1173939	-618,7457145	766,3577271	-448,7820129	1001,171021	0	0	0	0	0
15	-760,3875746	-569,4640572	-855,658682	-728,5034379	766,3577271	-618,7457275	1215,139771	0	0	0	0	0
16	-799,4758796	-600,1659957	-899,4882439	-766,3767064	766,3577271	-728,503418	1385,103516	0	0	0	0	0
17	-762,0731619	-570,7610052	-856,4910328	-729,7750666	766,3577271	-766,376709	1494,861084	0	0	0	0	0
18	-648,6716897	-486,4420261	-730,0537445	-621,7224868	766,3577271	-766,376709	1532,734375	3	0	0	0	0
19	-472,4262822	-353,8126082	-531,7729644	-452,6706183	766,3577271	-766,376709	1532,734375	3	0	0	0	0
20	-249,1579278	-187,4224975	-281,3790079	-239,3198111	766,3577271	-766,376709	1532,734375	3	0	0	0	0
21	-2,155882647	-1,624475074	-2,729653868	-2,170003863	766,3577271	-766,376709	1532,734375	3	0	0	0	0
22	244,8223642	183,3224505	275,730632	234,6251489	766,3577271	-766,376709	1532,734375	3	0	0	0	0
23	468,3894873	350,9718814	526,8085738	448,7233142	0	234,6251526	1532,734375	0	0	0	0	0

Figura 4.13. Planilha em Excel que são armazenados os dados.

Para acompanhar com maior clareza o experimento, são colocados um marcador, um botão de liga/desliga no qual indica com “0” ou “1” o início do experimento. O experimento inicia-se com abertura da porta do local incendiado por parte dos combatentes. Outros momentos podem ser marcados no gráfico e armazenados na planilha de acordo com a preferência do usuário.

Ainda, o programa possui um cronômetro para marcar o tempo do treinamento, sendo este com o início a partir de pressionar o botão “Marcador” até o fim com a paralização da execução do programa. Por segurança durante o treinamento, há uma indicação de risco de generalização do incêndio (*flashover*), mostrando temperatura acima de 600 °C e com isso, maior risco para os combatentes em treinamento no contêiner.



Figura 4.14. Painel do programa com as funcionalidades.

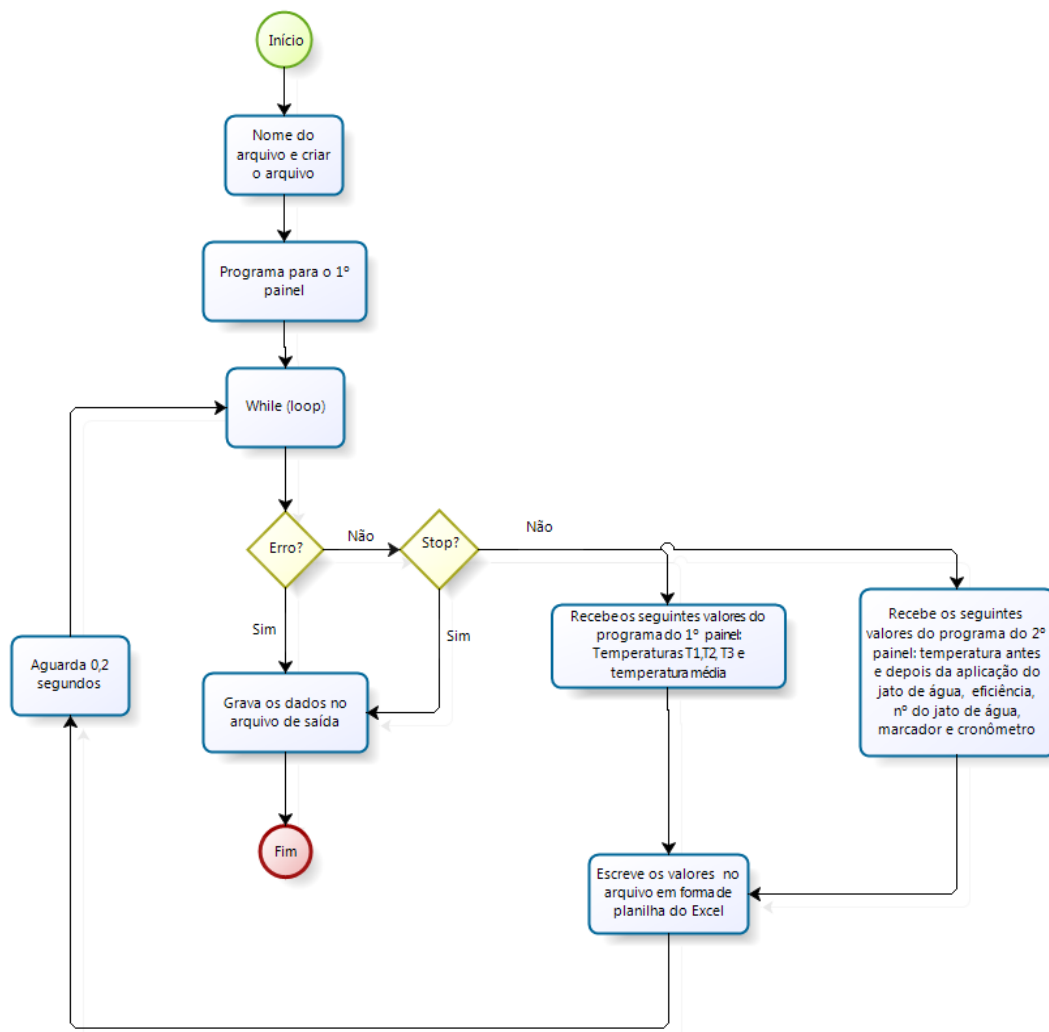


Figura 4.15. Algoritmo que mostra a parte do programa que ocorre o armazenamento de dados na planilha.

4.6. MONTAGEM DOS PAINÉIS

Considerando que os painéis irão ficar instalados em um ambiente que será submetido a altas temperatura e calor, fumaça em excesso, choques mecânicos e presença de água, as placas de LED's necessitariam de uma proteção externa que fornecesse uma barreira para este ambiente hostil. Para isso, foram escolhidos luminárias tartarugas, por serem luminárias que geralmente ficam em ambientes externos, no qual estão sendo submetidas a chuva e calor, além de possuírem uma certa proteção contra choques mecânicos.



Figura 4.16. Luminárias Tartaruga.

Outro problema a ser analisado é em relação ao sistema de LEDs, pois eles são conhecidos por trabalharem “a frio”, ou seja, não precisam atingir valores elevados de temperatura na sua junção para fornecerem luminosidade suficiente. Em consequência, a sua vida útil pode ser diminuída drasticamente quando em ambientes de alta temperatura (Rodrigues & Moraes, 2012).

Para que a placa de LED não seja submetida a altas temperaturas, foi aplicado silicone para altas temperatura na parte metálica da luminária e nas frestas, por possuir isolamento térmico e evitar a entrada de fumaça na junção da parte metálica com a parte de vidro. Ainda, será colocado papel alumínio na parte metálica para diminuir a radiação térmica. Por segurança, as placas de diodos emissores de luz (LED) foram colocadas afastadas da parte frontal de vidro.



Figura 4.17. Silicone para alta temperaturas aplicado na luminária.

O primeiro painel em que consiste de mostrar as faixas de temperaturas no ambiente ligando os diodos emissores de luz (LED) correspondentes, foi montado utilizando os seguintes materiais:

Tabela 4.2. Materiais utilizados para a construção do primeiro painel de LEDs.

Materiais Utilizados
1 placa de fibra de vidro com face simples perfurada com padrão universal, com dimensões 5cmx10cm.
8 LEDS de alto brilho na cor verde.
8 LEDS de alto brilho na cor amarela.
8 LEDs de alto brilho na cor vermelho
2 Resistores de 260 Ω .
2 Resistores de 10 Ω .
2 Resistores de 50 Ω .
1 Cabo USB.

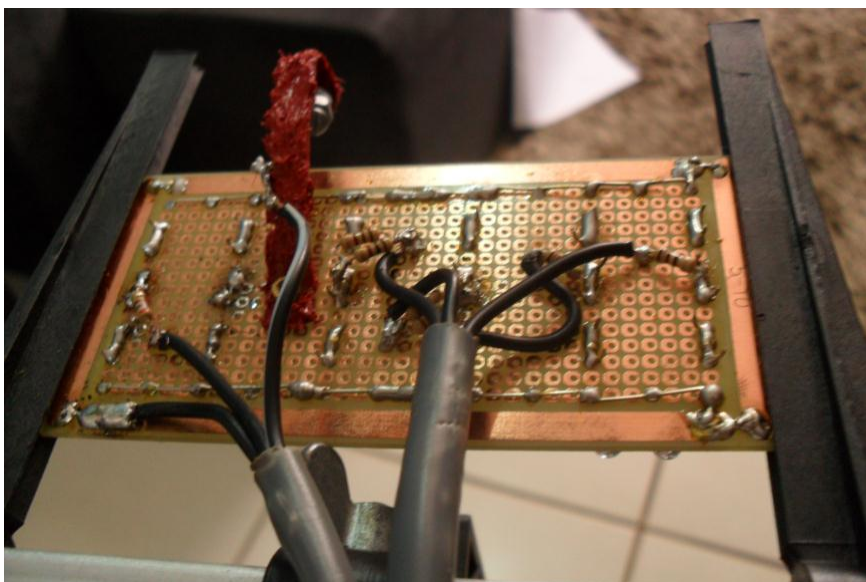


Figura 4.18. Placa universal perfurada com o circuito elétrico.

A alimentação da placa é de 5 V, sendo a fonte de energia por cabos USBs ligados diretamente nas entradas do computador utilizado para os treinamentos. A alimentação da energia elétrica consiste de 5 canais na seguinte ordem: 1 canal para os LEDs verdes, 2 canais para a cor amarela e 2 canais para a cor vermelha.

As escolhas dos valores de resistência para cada tipo de LED (verde, amarelo e vermelho) não levou-se apenas em consideração apenas a tensão de funcionamento, mas também que todos fornecessem uma luminosidade similar e não ocorresse o ofuscamento da visão dos combatentes em treinamento por excesso de luminosidade.

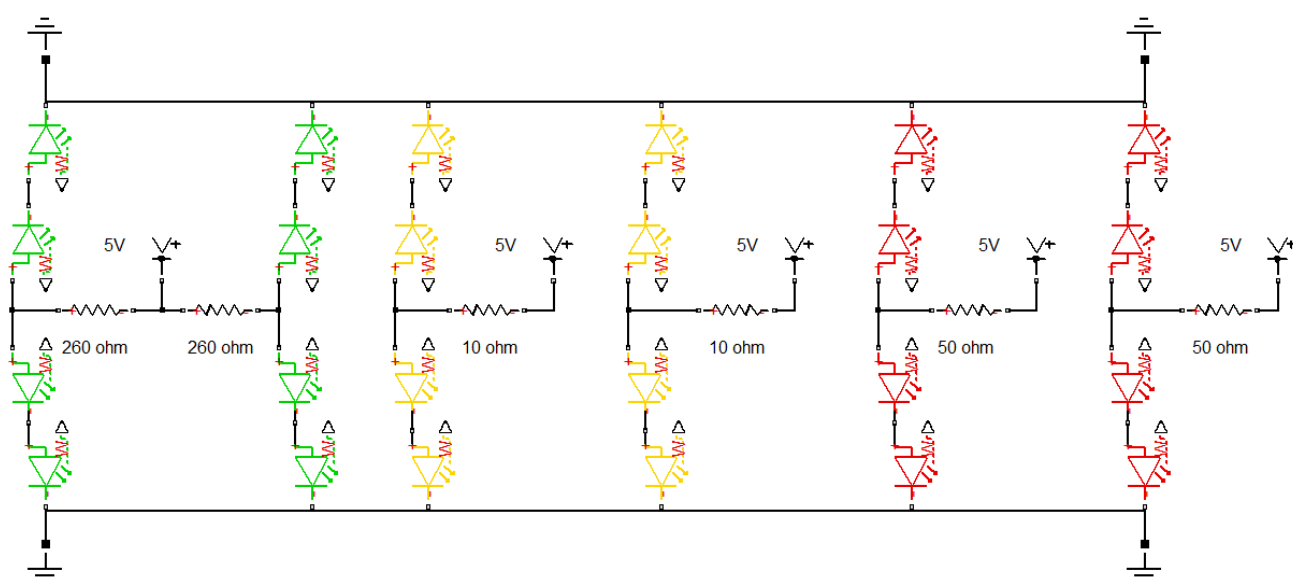


Figura 4.19. Circuito do primeiro painel.

O segundo painel, no qual mostra a eficiência do jato d'água aplicado pelo esguicho, foi confeccionado de forma semelhante ao primeiro painel, sendo modificada a ordem de organização das cores dos LEDs na placa do sistema. Inicia-se pela cor vermelha e tem o último canal na cor verde. Além disso, possui apenas 3 canais: 1 canal vermelho, 1 canal amarelo e 1 canal verde.

Outra modificação é que os diodos emissores de luz da cor verde foram instalados sem a colocação de resistores. Foi feito dessa forma porque não serão ligados canais ou cores diferentes de LEDs de forma simultânea no treinamento, com isso não é necessário que todos possuam luminosidade similar.

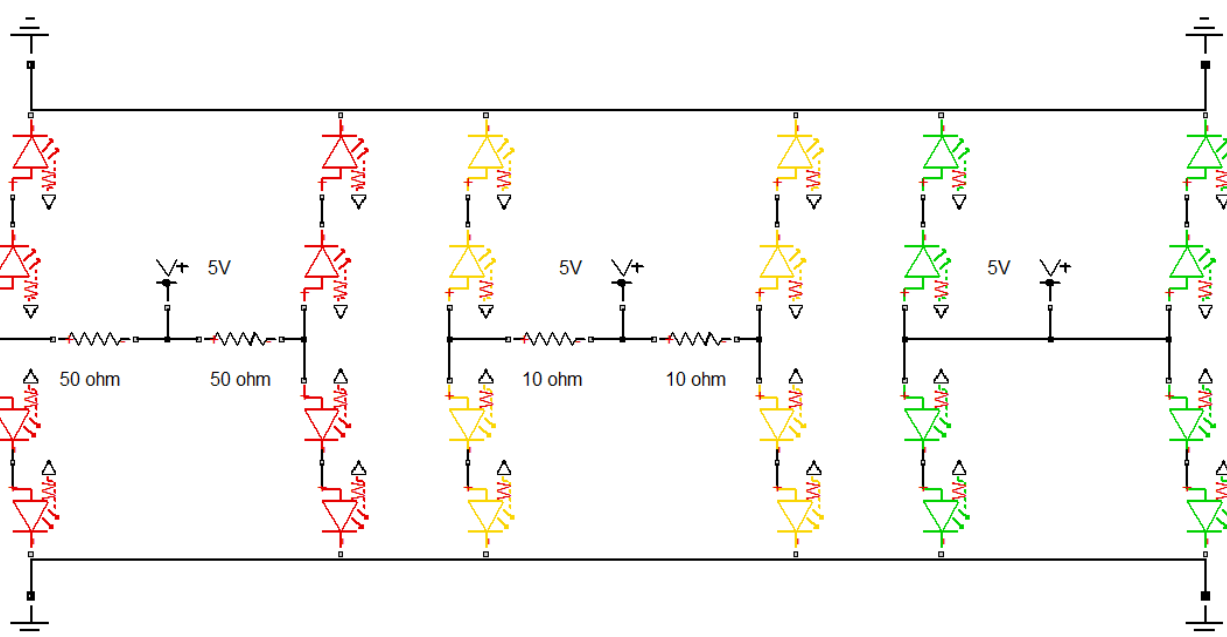


Figura 4.20. Circuito do segundo painel.

4.7. HARDWARE UTILIZADO

No experimento, serão utilizados três sensores Termopares do tipo K em bastão. A escolha de sensores de temperatura em bastão apesar de ter uma menor precisão, foi pelo fato de ser um ambiente com a presença de fumaça, calor em excesso, água e possíveis choques mecânicos nos sensores. Por isso, eram necessários sensores de temperatura com uma maior resistência a desgastes.



Figura 4.21. Sensor de temperatura termopar do tipo K em bastão.
Fonte: <http://g02.a.alicdn.com/>

Estes sensores fornecem uma pequena diferença de potencial em volts de acordo com a temperatura no ambiente. Para que possa ser feita a leitura em escala de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), faz-se necessário que estes sensores termopares estejam acoplados ao módulo NI 9213 – *Thermocouple Input*, da empresa *National Instruments*. Estes módulos podem realizar a leitura de até 16 termopares de forma simultânea. A escolha dos equipamentos da Empresa *National Instruments* deve-se a disponibilidade existente destes equipamentos no CBMDF e por ser da mesma Empresa do *software* Labview.

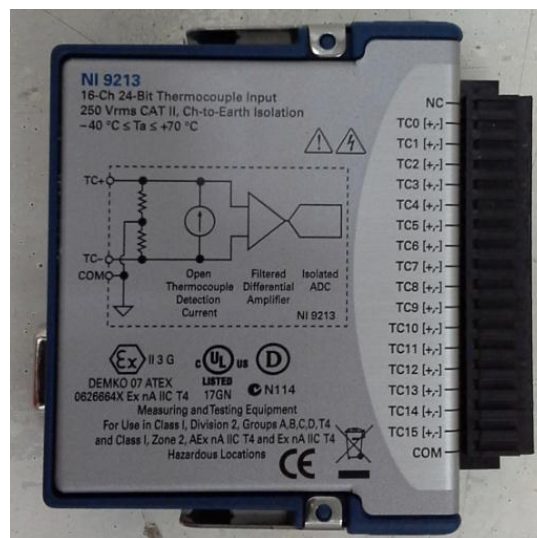


Figura 4.22. Módulo NI 9213 – Leitura de sensores termopares.

A próxima etapa do experimento, é conseguir uma forma de transmitir a informação da temperatura no ambiente ou da eficiência do jato d'água, dependendo do painel a ser utilizado, e ligar os diodos emissores de luz correspondentes ou desligar, caso a condição

de faixa de temperatura não esteja satisfeita. Para isto, será usado o módulo NI 9485 - *Solid State Relay*, da *National Instruments*. Este módulo possui 8 canais, nos quais serão conectados os 5 canais do primeiro painel e os 3 canais do segundo painel.



Figura 4.23. Módulo NI 9485 – Relay para ligar e desligar os LEDs.

Estes módulos necessitam de uma base para serem conectados e realizar a sincronização com o computador utilizando o *software* Labview. A base em que serão conectados os módulos é o NI cDAQ-9174 – CompactDAQ, da *National Instruments*. Os módulos são acoplados nesta base e por meio dela os sinais são enviados e recebidos para o computador.



Figura 4.24. Base NI cDAQ-9174 – Sincroniza os módulos ao computador.

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos em testes em laboratório e na queima de material combustível no contêiner. Também, é realizada uma análise das tabelas e gráficos obtidos comparando com o esperado.

5.1. ANALISANDO O FUNCIONAMENTO DOS PAINÉIS DE LED

Somente realizando a queima de material combustível em ambiente confinado e após o crescimento do incêndio a altas temperaturas, é que seria possível testar o funcionamento do primeiro painel de luz no qual ilustra as faixas de temperatura no ambiente e do segundo painel que mostra a eficiência do jato de água atomizado.

Porém, antes de realizar experimentos com os dois painéis de LED dentro do contêiner, foram realizadas verificações em laboratório da Diretoria de Investigação de Incêndio do CBMDF utilizando sensores de temperatura termopares do tipo K.

Sendo feito desta forma pois para realizar o treinamento de combate a incêndio em ambiente confinado faz-se necessário ter recursos humanos para realizar a montagem da estrutura dos sensores de temperatura e para acompanhar o experimento, além de material combustível para realizar a queima e provocar um fogo em ambiente controlado. Por isso, necessitaria-se identificar o máximo de erros possíveis com os painéis e com a programação no *software* Labview e retificá-los antes da realização de fogo em ambiente controlado no contêiner.

Tabela 5.1. Cenários de treinamento de combate a incêndio em ambiente confinado.

CENÁRIOS	PROCEDIMENTOS
Cenário 2	Consistiu em testes em laboratório para os dois painéis de LEDs. Primeiramente, realizou-se a instalação de todos os módulos e os conectou ao computador por meio do software Labview e iniciou o programa. Utilizou-se os painéis para fornecer a informação da temperatura no ambiente e da

Cenário 2	<p>eficiência do jato atomizado durante os testes em laboratório. Utilizou-se uma vela acesa e colocou-se a chama da vela em contato direto com três sensores termopares do tipo K para elevar a temperatura até o nível desejado. Com isso, teve-se o intuito de observar o acendimento dos canais de LEDs da placa do primeiro painel de acordo com a elevação da temperatura. Para testar o segundo painel, utilizou-se um recipiente com água gelada, abaixo da temperatura ambiente, para provocar uma queda brusca de temperatura, criando uma situação semelhante a aplicação de um jato atomizado. Logo após, colocava-se o sensores novamente em contato com a chama da vela. Em consequência, a temperatura aumentava novamente, criando uma situação semelhante a recuperação da temperatura após a aplicação de um jato de água atomizado.</p>
Cenário 3	<p>Neste cenário foi realizada a queima de uma impressora localizada em uma mesa com cerca de 1,0 m de altura e de uma placa de madeira localizada no teto do ambiente confinado com material combustível. O contêiner estava bem ventilado, com as duas portas abertas totalmente. Foram colocados oito sensores termopares, sendo dois localizados na lateral esquerda do contêiner, próximos da queima, três sensores a uma distância média entre a entrada e o fogo localizado no fundo do contêiner, dois sensores de temperatura na lateral direita do ambiente confinado e um sensor na impressora, próximo do local onde se iniciou a queima. Logo após, realizou-se a instalação de todos os módulos e os conectou ao computador por meio do software Labview e iniciou o programa. Utilizou-se os painéis para fornecer a informação da temperatura no ambiente e da eficiência do jato atomizado durante o treinamento de combate a incêndio. Este experimento atingiu temperatura máximo de cerca de 450 °C e pôde-se observar toda a evolução e o declínio do incêndio, em que ocorreu com uma grande quantidade de fumaça. O tempo total foi de aproximadamente 1 hora até a extinção do incêndio.</p>
Cenário 4	<p>Para este cenário foi realizada a queima de madeira como material combustível, em ambiente confinado de material metálico (contêiner), com pouca ventilação (uma das portas estava fechada e a outra porta aberta apenas na parte de cima). Utilizou-se sete sensores termopares do tipo K, sendo seis sensores termopares em bastão e um em fio. Foram instalados três sensores de temperatura no teto do contêiner, a uma distância média entre a entrada do contêiner e a queima localizada no fundo do contêiner; três sensores no teto mais próximos do incêndio e um sensor próximo dos</p>

Cenário 4	<p>bombeiros, a cerca de 1,0 metro de altura. Logo após, realizou-se a instalação de todos os módulos e os conectou ao computador por meio do software Labview e iniciou o programa. Utilizou-se os painéis de LEDs para fornecer a informação da temperatura no ambiente e da eficiência do jato atomizado durante o treinamento de combate a incêndio. Esperou-se o incêndio chegar ao ápice, com temperatura acima de 650 °C nos três sensores próximos do fogo e aplicou o jato de água atomizado, com pressão mínima entre 8 e 9 Bar, mangueiras de 1 ½ polegada e vazão de 30 GPM (CBMDF, 2009). Posteriormente, aplicava-se novos jatos atomizados quando se observava-se que o fogo controlado estava se recuperando, fazendo isto até uma diminuição drástica da temperatura no ambiente. Com esta diminuição, aplicou-se jatos de água visando a extinção do incêndio. O tempo total do treinamento foi de cerca de 20 minutos até a extinção do incêndio.</p>
-----------	--

5.2. TESTES EM LABORATÓRIO COM O PRIMEIRO PAINEL

Os experimentos realizados em laboratório com o primeiro painel de LED consistiam em verificar se de acordo com o aumento de temperatura nos sensores de termopares, as luzes de LED das cores correspondente no painel seriam acendidas de forma progressiva de acordo com a temperatura nos sensores.

Para realizar este experimento, fez-se necessário, inicialmente, realizar a montagem dos módulos NI 9213, faz a leitura dos sensores termopares, e NI 9485, *relay* para ligar e desligar os canais de LEDs, na base NI cDAQ-9174, em que sincroniza os módulos ao computador.

Posteriormente, conectou-se os sensores termopares no módulo NI 9213 e os canais de LEDs dos dois painéis, um total de oito canais, no módulo NI 9485. O módulo *relay* não alimenta com energia elétrica as placas de LED dos painéis, com isso, foi necessário realizar a alimentação externa dos canais de LED.

Para isto, foram utilizados dois cabos USB de forma adaptada com 5 V de tensão cada um. Os cabos USB alimentam as duas placas de LED e estes cabos são ligados diretamente no computador em que se está monitorando o experimento. Um dos cabos USB alimenta, com energia elétrica, três canais da placa do primeiro painel e o outro cabo fornece tensão para os cinco canais da placa de LED do segundo painel.

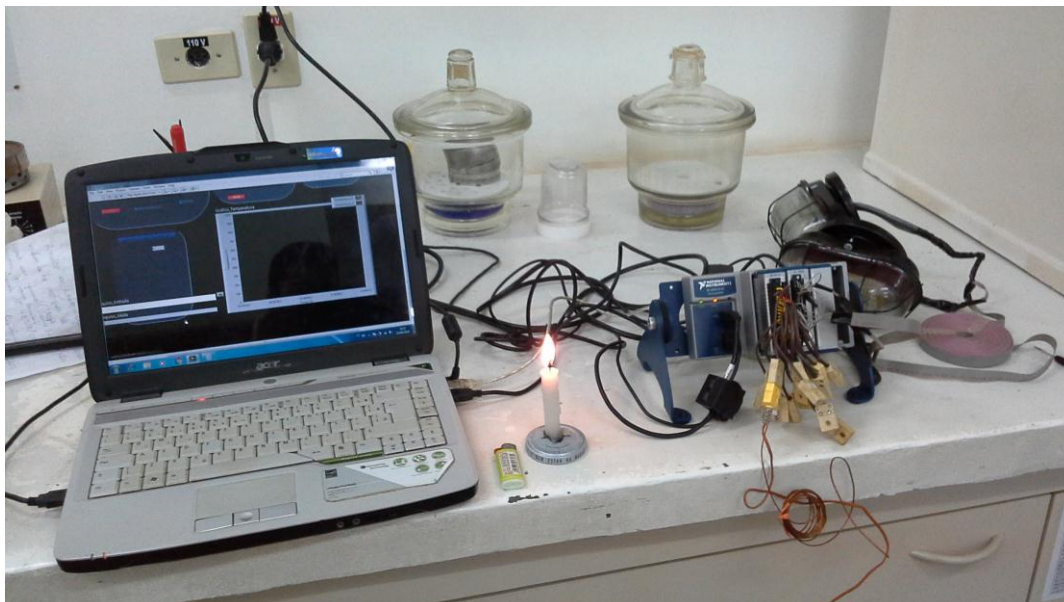


Figura 5.1. Instalação dos componentes para a realização do experimento em laboratório.

Depois, realizou-se a conexão da base NI cDAQ-9174 com o computador e começou o *software* Labview para iniciar o experimento. Então, avaliou-se o funcionamento do primeiro painel conforme descrito no cenário 2 da tabela 5.1.

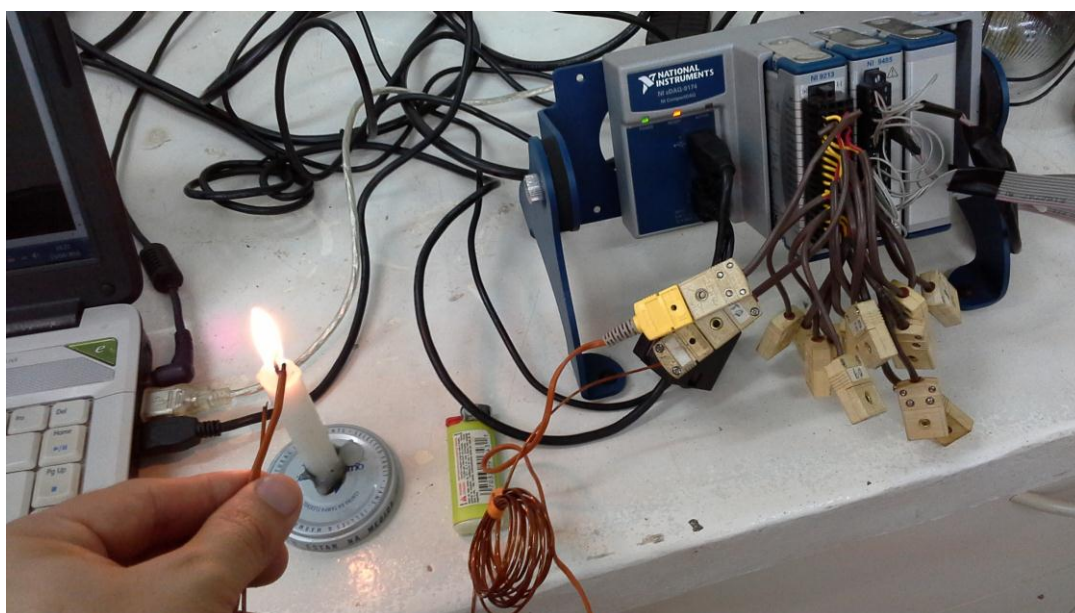


Figura 5.2. Sensores termopares em contato com a vela acesa.

Ao colocar os sensores termopares em contato com a chama da vela durante um pequeno intervalo de tempo, cerca de 5 segundos, pode-se observar um aumento rápido da temperatura até próximo a $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta elevação de temperatura provocou o acendimento das luzes de LED do primeiro painel de forma progressiva, conforme o esperado, acendendo todos os canais.

Sensores Termopar tipo K

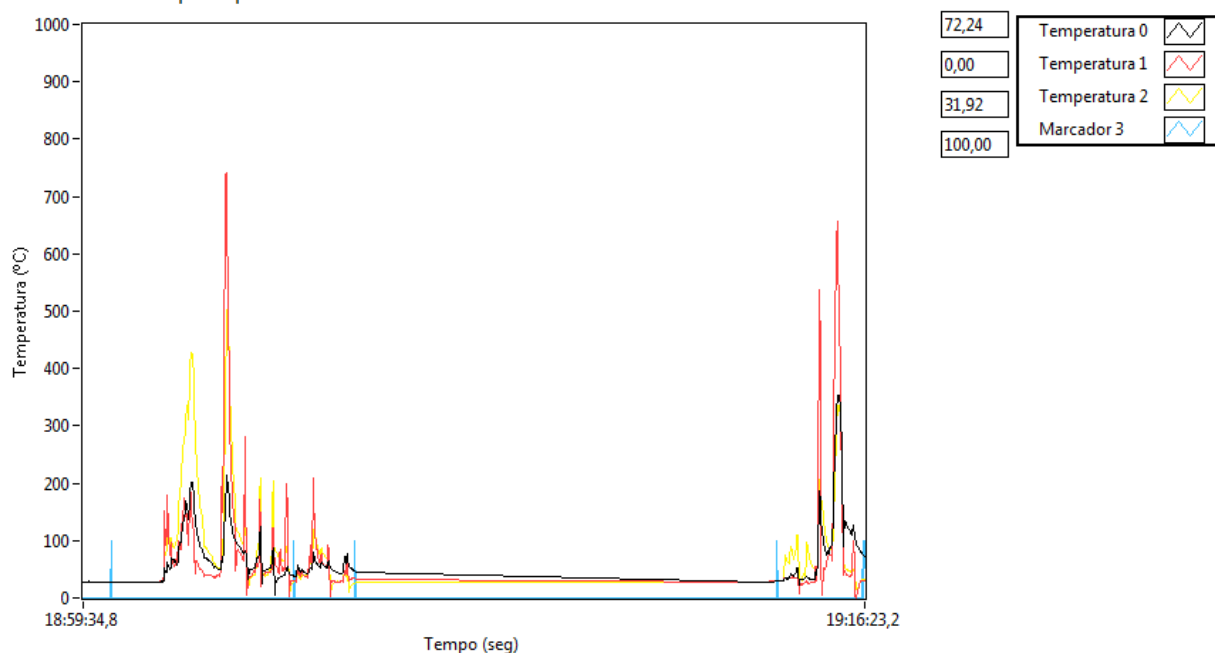


Figura 5.3. Gráfico da Temperatura dos três sensores em contato com a chama da vela.

5.3. TESTES EM LABORATÓRIO COM O SEGUNDO PAINEL

Para o segundo painel de LED, os experimentos realizados em laboratório tinham o intuito de verificar se o painel estava mostrando as luzes de LED da cor correspondente a eficiência do jato de água, utilizando a diferença de temperatura entre antes da aplicação do jato de água atomizado e a mínima temperatura em decorrência deste jato.

Por meio de planilha no software Excel, eram gravadas as temperaturas medidas nos três sensores e encontrava-se a eficiência do jato neblinado em pulso fazendo a diferença entre a temperatura antes da aplicação do jato de água e a menor temperatura encontrada em decorrência do jato. Com isso, era possível comparar os valores gravadas na tabela da eficiência do jato de água com a cor de luz de LED correspondente que era acendido no painel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Temperatura0 (°C)	Temperatura1 (°C)	Temperatura2 (°C)	Temp_Média (°C)	Temp_Antes (°C)	Temp_Atual (°C)	Eficiência (°C)	Nº JD	Marcador	H :	M :	S
2	191,2782581	377,1250689	462,9281504	343,7771591	441,9374695	389,2241516	0	0	0	0	0	19,4
3	181,6093909	278,7196588	430,9284407	297,0858301	441,9374695	343,7771606	52,71331787	0	0	0	0	19,6
4	161,2912458	139,0843777	342,1414256	214,1723497	441,9374695	297,0858154	98,16030884	0	0	0	0	20
5	161,2912458	139,0843777	342,1414256	214,1723497	441,9374695	252,666748	144,8516541	0	0	0	0	20,2
6	151,4270817	108,6525781	307,5167411	189,1988003	441,9374695	214,172348	189,2707214	0	0	0	0	20,4
7	143,1153472	123,7853689	290,3748244	185,7585135	441,9374695	189,1988068	227,7651215	0	0	0	0	20,8
8	142,6260083	133,4516718	281,1697193	185,7491331	441,9374695	185,7585144	252,7386627	0	0	0	0	21
9	137,3675605	136,8484526	267,3846925	180,5335685	441,9374695	185,7491302	256,1789551	0	0	0	0	21,4
10	137,3675605	136,8484526	267,3846925	180,5335685	441,9374695	183,5324249	256,1883545	0	0	0	0	21,6
11	135,3619169	135,2822178	261,1750447	177,2730598	441,9374695	180,5335693	258,4050293	0	0	0	0	21,8
12	133,5103685	132,5569971	255,3784561	173,8152739	441,9374695	180,5335693	261,4039001	0	0	0	0	22
13	131,6186947	122,7348449	246,0590094	166,804183	441,9374695	173,8152771	264,6644287	0	0	0	0	22,4
14	127,9690718	116,0159338	239,0589542	161,0146532	441,9374695	173,8152771	268,1221924	0	0	0	0	22,6
15	125,8415027	78,16049107	217,8775879	140,6265272	441,9374695	161,0146484	275,1333008	0	0	0	0	23
16	115,7976415	56,09437536	195,233496	122,375171	441,9374695	140,6265259	280,922821	0	0	0	0	23,2
17	107,8516686	47,06460217	174,731115	109,8824619	441,9374695	122,3751678	301,3109436	0	0	0	0	23,6
18	103,7264627	42,45179661	158,0721377	101,416799	441,9374695	109,8824615	319,5623169	0	0	0	0	23,8
19	103,2412098	56,52560654	143,3799785	101,0489316	441,9374695	101,4168015	332,0549927	0	0	0	0	24,2
20	103,2412098	56,52560654	143,3799785	101,0489316	441,9374695	97,78136444	340,5206604	0	0	0	0	24,4
21	103,7727732	60,79621453	140,8178226	101,7956035	441,9374695	97,78136444	344,1560974	3	0	0	0	24,6
22	103,5567407	63,83612349	138,8580843	102,0836495	441,9374695	97,78136444	344,1560974	3	0	0	0	24,8

Figura 5.4. Planilha em Excel com os dados gravados em experimento em laboratório.

Pode-se observar que houve uma diferença de intervalo de tempo de 0,2 segundos entre a Temperatura Média calculada e a Temperatura Atual, os valores deveriam ser iguais. Isto ocorreu pelo fato da programação ser feita em dois blocos em paralelo e a gravação dos dados ser realizada apenas no bloco que era executado a cada 0,2 segundos, sem atrasos ou *delays*, no qual era o bloco que recebia a informação dos sensores de temperatura e calculava a média.

Então, a gravação de dados da Temperatura Antes, Temperatura Atual, Eficiência e Número do Jato só eram gravados na planilha na próxima execução deste segundo bloco que estava gravando os dados na planilha em Excel. Para criar uma situação análoga a aplicação de um jato atomizado, realizou-se o experimento conforme descrito no cenário 2.

Sensores Termopar tipo K

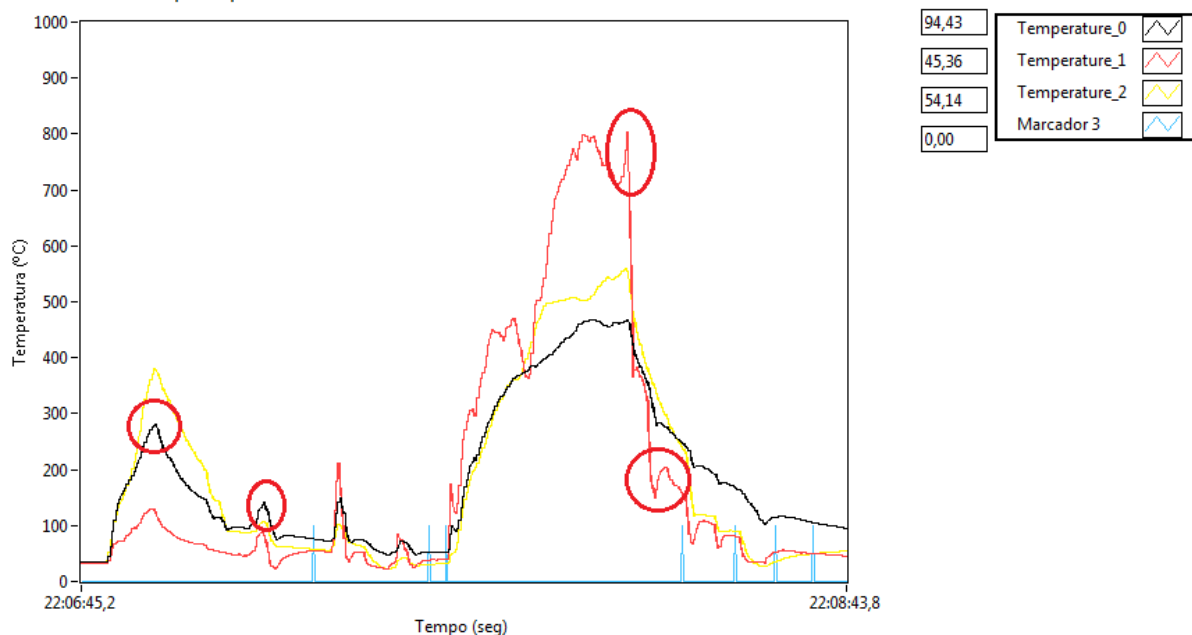


Figura 5.5. Gráfico do experimento em laboratório criando uma situação análoga a aplicação do jato atomizado.

Após vários ajustes, esta segunda parte da programação funcionou, no qual o segundo painel de LED mostrou a eficiência do jato de água correspondente a queda de temperatura provocada por um recipiente com água gelada.

5.4. RESULTADOS DO PRIMEIRO PAINEL EM TREINAMENTO DE COMBATE A INCÊNDIO

Para se realizar os testes dos painéis de LED em treinamento com fogo controlado em ambiente confinado, necessitaria-se instalar os sensores termopares em bastão no contêiner e ter material combustível para ser utilizado na queima, produzindo, assim, o fogo controlado. Com isso, somente se realizou os testes em treinamento após corrigir todos os erros identificados nos testes realizados em laboratório.

O ambiente deste treinamento de combate a incêndio para testar o funcionamento do primeiro painel de LEDs é descrito no cenário 3 da tabela 5.1. Porém, apesar da utilização para o experimento de oito sensores de temperatura, apenas os três sensores instalados no teto foram utilizados para se estabelecer a temperatura média e utiliza este valor como referência para o acendimento das luzes dos painéis de LED.



Figura 5.6. Instalação dos módulos NI e conexão com o computador.

Logo após, verificou-se se todos os sensores estavam funcionando corretamente, instalou-se os painéis de LED dentro do contêiner e iniciou-se a queima do objeto.



Figura 5.7. Mostrando o início do treinamento com a utilização dos painéis de LED.

Iniciou-se o incêndio em ambiente em controlado e após algum tempo, aconteceu a elevação da temperatura no ambiente confinado. Com isso, as luzes de LED do primeiro painel foram acendendo conforme a temperatura iria subindo, de acordo com as faixas de temperatura definidas. Tendo como referências de temperatura os três sensores termopares localizados no teto do contêiner.



Figura 5.8. As luzes do primeiro painel acendendo conforme o aumento de temperatura.

Necessitou-se utilizar papel alumínio envolta dos painéis e dos fios elétricos nos experimentos com fogo controlado, por este material apresentar baixa absorção a radiação térmica (Vittorino et. al., 2003). Em que, devido a temperatura máxima que o combustível poderia atingir em sua ignição, poderia danificar a placa de LED ou diminuir a sua vida útil.

No decorrer do experimento, os dados de temperatura foram gravados em planilha por meio da programação no *software* Labview. Em consequência, foi possível comparar se as fileiras de LED que estavam acendendo com a elevação de temperatura correspondiam a real temperatura no ambiente. Para se saber os exatos momentos, utilizou-se o intervalo de tempo de início até o momento em que acendeu a cor de luz de LED e comparou-se ao mesmo intervalo de tempo da temperatura no ambiente gravada em planilha do Excel.

Temperatura0 (°C)	Temperatura1 (°C)	Temperatura2 (°C)	Temp. Média (°C)	Temp. Antes (°C)	Temp. Atual (°C)	Eficiência (°C)	Nº JD	Marcador	H : M : S
395,4042382	578,055567	422,4749014	465,3115689	462,5118713	465,311554	0	0	0	0 3 9,6
393,0614747	578,3613998	422,4076517	464,6101754	462,5118713	465,311554	0	0	0	0 3 9,8
393,0614747	578,3613998	422,4076517	464,6101754	465,311554	465,311554	0	0	0	0 3 10
393,0614747	578,3613998	422,4076517	464,6101754	465,311554	464,6101685	0	0	0	0 3 10,2
393,530561	577,987678	421,3036894	464,2739762	465,311554	464,6101685	0,701385498	0	0	0 3 10,4
393,530561	577,987678	421,3036894	464,2739762	464,6101685	464,6101685	0,701385498	0	0	0 3 10,6
393,530561	577,987678	421,3036894	464,2739762	464,6101685	464,2739868	0	0	0	0 3 10,8
390,4891728	561,8915306	418,743958	457,0415538	464,6101685	464,2739868	0,336181641	0	0	0 3 11
390,4891728	561,8915306	418,743958	457,0415538	464,2739868	464,2739868	0,336181641	0	0	0 3 11,2
390,4891728	561,8915306	418,743958	457,0415538	464,2739868	457,0415649	0	0	0	0 3 11,4
392,0285156	561,0325645	419,4253684	457,4954829	464,2739868	457,0415649	7,232421875	0	0	0 3 11,6
392,0285156	561,0325645	419,4253684	457,4954829	457,0415649	457,0415649	7,232421875	0	0	0 3 11,8

Figura 5.9. Relacionando os valores de temperatura com o intervalo de tempo.

Portanto, observa-se que o resultado do experimento com o primeiro painel com fogo controlado em ambiente confinado aconteceu conforme o planejado em que atingiu uma temperatura média de aproximadamente 465 °C aos 3 minutos e 9,6 segundos de treinamento de combate a incêndio no contêiner, acendendo todas os canais de LEDs da placa do primeiro painel.

Tendo em vista que ao se utilizar o intervalo de tempo desde o início do experimento até o momento em que se acendeu uma determinada fileira de LED, correspondeu a temperatura no ambiente compartimentado com fogo controlado.

Problemas encontrados em relação ao primeiro painel foi que no cenário 3 o sensor de temperatura que estava sendo utilizado como referência para o acendimento dos LEDs da placa do primeiro painel era diferente dos sensores utilizados para cálculo da média da temperatura utilizado como valor para se determinar a eficiência da jato atomizado.

Então, em alguns momentos, aplicava-se o jato de água, visualizando a eficiência pelo segundo painel mas não se observava uma queda de temperatura no primeiro painel, dando a impressão que os painéis estavam fora de sincronia.

5.5. RESULTADOS DO SEGUNDO PAINEL EM AMBIENTE CONFINADO

Os testes para se verificar o funcionamento do segundo painel de LEDs, em que se deveria mostrar a eficiência do jato atomizado aplicado durante o treinamento de combate a incêndio, foram realizados conforme retratado no cenário 4.



Figura 5.10. Treinamento de combate a incêndio com aplicação do jato atomizado.

Após poucos segundos da aplicação do jato de água atomizado no treinamento de combate a incêndio, conforme o cenário 4, ocorreu o acendimento da luz de LED no painel. Demonstrando que o sistema do segundo painel de LED estava tendo um rápido tempo de resposta conforme a ação.



Figura 5.11. O painel mostrando a eficiência do jato atomizado aplicado.

Agora, era precisa comparar o valor da eficiência do jato de água gravado na planilha para o mesmo intervalo de tempo e verificar se está de acordo com a luz de LED acendida da cor correspondente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2358	Temperatura0 (°C)	Temperatura1 (°C)	Temperatura2 (°C)	Temp_Média (°C)	Temp_Antes (°C)	Temp_Atual (°C)	Eficiência (°C)	Nº JD	Marcador	H	M	S
2359	460,1781356	541,8321872	399,8082169	467,2728465	465,8245544	467,2728577	0	0	0	0	7	33
2360	454,8019831	507,6119128	400,3254995	454,2464651	465,8245544	467,2728577	0	0	0	0	7	33,2
2361	454,8019831	507,6119128	400,3254995	454,2464651	467,2728577	467,2728577	0	0	0	0	7	33,4
2362	454,8019831	507,6119128	400,3254995	454,2464651	467,2728577	454,24646	0	0	0	0	7	33,6
2363	446,2444855	488,5720077	391,8757972	442,2307635	467,2728577	454,24646	13,02639771	0	0	0	7	33,8
2364	446,2444855	488,5720077	391,8757972	442,2307635	467,2728577	454,24646	13,02639771	0	0	0	7	34
2365	446,2444855	488,5720077	391,8757972	442,2307635	467,2728577	442,2307739	13,02639771	0	0	0	7	34,2
2366	441,6924241	471,8758057	383,3584145	432,3088814	467,2728577	442,2307739	25,04208374	0	0	0	7	34,4
2367	441,6924241	471,8758057	383,3584145	432,3088814	467,2728577	442,2307739	25,04208374	0	0	0	7	34,6
2368	441,6924241	471,8758057	383,3584145	432,3088814	467,2728577	432,3088684	25,04208374	0	0	0	7	34,8
2369	450,1100876	477,0651661	385,2039161	437,4597233	467,2728577	432,3088684	34,96398926	0	0	0	7	35
2370	450,1100876	477,0651661	385,2039161	437,4597233	467,2728577	432,3088684	34,96398926	0	0	0	7	35,2
2371	450,1100876	477,0651661	385,2039161	437,4597233	467,2728577	432,3088684	34,96398926	1	0	0	7	35,4
2372	451,96809	486,2591914	386,4538527	441,560378	467,2728577	432,3088684	34,96398926	1	0	0	7	35,6
2373	451,96809	486,2591914	386,4538527	441,560378	467,2728577	432,3088684	34,96398926	1	0	0	7	35,8
2374	451,96809	486,2591914	386,4538527	441,560378	467,2728577	432,3088684	34,96398926	1	0	0	7	36

Figura 5.12. Eficiência do jato de água e o intervalo de tempo em que ocorreu.

Então, por meio da Figura 5.12. pôde-se verificar que a luz de LED da cor correspondente acendeu conforme a eficiência do jato atomizado aplicado e que o programa continuou recebendo os valores de temperatura até encontrar o menor valor.

Calculou-se a eficiência por meio da diferença de temperatura entre a temperatura de antes da aplicação do jato atomizado e a temperatura mínima atingida em consequência desse jato d'água, mostrando uma eficiência de aproximadamente 34,96 °C aos 7 minutos e 35,4 segundos de treinamento, conforme ilustrado na Figura 5.12, acendendo o canal de LEDs vermelho do segundo painel, mostrando uma eficiência de jato atomizado ruim. Com isso, observa-se que o sistema está funcionando conforme o previsto.

Ao término do experimento de treinamento de combate a incêndio utilizando os painéis de LEDs, verificou-se a integridade destes painéis em consequência do ambiente com excesso de calor e fumaça. Em que, pode-se verificar que as barreiras de proteção contra as nocividades deste ambiente foram eficazes em não permitir que o equipamento fosse danificado.



Figura 5.13. Condições dos painéis após a realização de um dos experimentos.

Então, pode-se observar que os painéis funcionaram de acordo com o esperado nos testes em treinamento com fogo controlado em ambiente confinado. O sistema teve um rápido tempo de resposta de acendimento da luz de LED após a aplicação do jato de água atomizado, o que era uma preocupação devido a necessidade de se agir de forma rápida caso o incêndio evoluísse, não se podendo aguardar mais do que um curto intervalo de tempo pela ilustração da eficiência do jato de água por este painel de LED.

Além disto, foi possível perceber que o sistema respondeu a aplicação do jato de água e que a faixa de LED que acendeu durante o treinamento estava de acordo com a eficiência do jato de água aplicado.

Críticas em relação ao segundo painel, foi que devido aos sensores de temperatura no cenário 4 não estarem bem próximos do fogo em ambiente controlado, quando se aplicava o jato atomizado em direção aos sensores termopares, observava-se pelo segundo painel uma eficiência do jato de água razoável. Porém, alguns instrutores de combate a incêndio informaram que apesar de estarem alcançando esta eficiência, o jato d'água estava sendo aplicado a uma altura acima da recomendada, de acordo com a técnica correta.

Outro fator, foi que, no decorrer do treinamento, com a aplicação de alguns jatos atomizados, a temperatura no ambiente foi diminuindo. Em consequência, os jatos atomizados aplicados foram diminuindo a eficiência de uma forma geral, sendo uma possível causa o declínio da temperatura no ambiente com fogo controlado. Uma sugestão seria que se calculasse a eficiência de acordo com o percentual de diminuição da temperatura, tendo como referência a temperatura antes da aplicação do jato d'água.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta a conclusão da pesquisa desenvolvida e proposta de trabalhos futuros a serem desenvolvidos relacionados ao tema.

6.1. CONCLUSÃO

A utilização de dispositivos eletrônicos aliados a sensores de temperatura termopares podem trazer melhorias no treinamento de combate incêndio para os bombeiros sendo civis ou militares.

Por meio da utilização do primeiro painel de LEDs, possibilitou-se que ocorresse uma melhor percepção dos riscos inerentes aos incêndios. Isto ocorreu pelo de fato de se observar as faixas de temperatura do painel de LEDs que vão acendendo de acordo com a elevação da temperatura no treinamento com fogo controlado em ambiente confinado naquele momento.

Com isso, pode-se fazer uma analogia com diversas condições em incêndios reais e conseguir reconhecer situações de riscos que estão ocorrendo ou prestes a acontecer. Com isso, sendo possível escolher a melhor estratégia para prosseguir no combate ao incêndio ou recuar para evitar que algum bombeiro ou os ocupantes do local em que está ocorrendo o incêndio possam sofrer algum dano sério a saúde

Em relação ao segundo painel, a melhoria no treinamento de combate poderia ocorrer por meio de ter a informação da eficiência do jato atomizado segundos após a aplicação do jato atomizado.

Em consequência de se ter esta informação da eficiência do seu jato atomizado, o combatente do fogo poderia realizar treinamentos continuados até perceber, utilizando a informação do acendimento da luz de LEDs do painel da cor correspondente a eficiência, que o seu jato atomizado está sendo mais eficiente no combate a incêndios, resfriando os gases no ambiente e consequentemente, diminuindo a temperatura no local do incêndio em ambiente confinado.

Com os resultados encontrados mediante os testes realizados conforme retratado nos cenários 2, 3 ,4; conclui-se que os painéis apresentarem a informação dos níveis

programados de temperatura e da eficiência do jato de água atomizado para os combatentes em treinamento de combate a incêndios em ambiente confinado, conforme a proposta do projeto.

Sendo que as faixas de LEDs do primeiro painel acenderam em conformidade com a elevação de temperatura no ambiente confinado descrito no cenário 3. Além de ter mostrado a eficiência do jato atomizado aplicado de acordo com a descrição do cenário 4, no qual ocorreu o acendimento da luz de LED da cor associada a eficiência do jato atomizado aplicado no ambiente.

A ilustração da eficiência do jato de água por meio do uso do painel de LEDs como sendo ruim, razoável ou bom só foram possíveis serem testados no cenário 2, tendo em vista os jatos atomizados aplicados nos cenários 3 e 4 só terem alcançado até a eficiência razoável.

Ocorreram alguns pontos a melhorar tanto no primeiro quanto no segundo painel. Em relação ao primeiro painel, aconteceu uma certa discrepância de percepção no cenário 4, quando se comparava a informação da queda de temperatura do primeiro painel com a informação da eficiência do jato atomizado fornecido pelo segundo painel de LEDs.

Para o segundo painel, aconteceu de se aplicar jatos de água na direção dos sensores de temperatura e ter apresentado eficiência razoável, apesar da técnica estar fora do padrão. Além de ter ocorrido uma diminuição da eficiência dos jatos atomizados aplicados no decorrer do treinamento, tendo como uma possível causa o declínio da temperatura no ambiente.

Portanto, será necessário realizar uma maior quantidade de testes para se saber a referência de temperatura a ser utilizada para o primeiro painel, para se saber qual a distância que os sensores de temperatura utilizados pelo segundo painel deverão estar do fogo controlado e se será mais adequado utilizar a simples diferença de temperatura ou a diminuição percentual da temperatura em decorrência da aplicação do jato de água atomizado.

Até porque pretende-se utilizar os painéis de LEDs no próximo Curso de Operações em Incêndio (COI) do CBMDF, em treinamentos de combate a incêndio no contêiner, utilizando-os para aperfeiçoar a técnica de ataque tridimensional de resfriamento dos gases dos bombeiros que irão participar do curso.

6.2. TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se verificar se realmente este sistema será eficiente no treinamento dos bombeiros militares ou civis visando uma evolução na técnica tridimensional de resfriamento dos gases aplicada por estes combatentes.

Outra opção, poderia ser a criação de novos dispositivos eletrônicos para fornecer mais informações úteis para os combatentes do fogo em treinamento de combate a incêndio em ambiente confinado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Corpo De Bombeiros Militar Do Distrito Federal (CBMDF). Manual básico de combate a incêndio do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. 2º Edição. Brasília, DF. 2009.
- [2] BRAGA, G. C.; NETO, J. P. L.; SALAZAR, H. F. A temperatura e fluxo de calor em uma situação de incêndio e as consequências para os bombeiros. **Revista FLAMMAE**. Recife - PE, v. 02, nº 04, julho a dezembro, 2016. Artigos Técnicos Científicos, Seção 1, p. 9-28.
- [3] COWLARD, A.; JAHN, W.; ABECASSIS-EMPIS, C.; REIN, G. TORERO, J. L. *Sensor assisted fire fighting*. **Fire Technology**, v. 46, n. 3, p. 719–741, 2010.
- [4] OLIVEIRA, M. Estudo sobre incêndios de progresso rápido. 2005. 88p. Dissertação (Especialização em Planejamento e Gestão de Defesa Civil) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: SC.
- [5] GRIMWOOD, P.; DESMET, K. **Tactical Firefighting: a comprehensive guide to compartment firefighting & live fire training (CFBT)**, Firetactics, Cemac, 2003.
- [6] SVENSSON, S. **Reducing fire fighter fatalities – the knowledge based approach, Reducing Firefighter Deaths and Injuries: Changes in Concept, Policy, and Practice Virtual Symposium**, setembro de 2008.
- [7] USFA (UNITED STATES FIRE ADMINISTRATION). **Special Report: Trends and Hazards in Firefighter Training. Special Report Series, TR-100**. Maio de 2003. Disponível em: <<http://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/tr-100.pdf>>. Acesso em: 23 de outubro de 2015.
- [8] LAWSON, J. R. **Fire Facts**, NIST Special Publication 1102, NISTIR 6400, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, agosto de 2009.
- [9] FOSTER, J. A.; ROBERTS, G. V. **Measurements of the Firefighting Environmente – Summary Report**, Central Fire Brigades Advisory Council Research Report number 61, 1994, Home Office Fire Research and Development Group, Fire Engineers Journal, Reino Unido, setembro de 1995.
- [10] HADJISOPHOCLEOUS, G. V.; BENICHOU, N. *Performance criteria used in fire safety design. Automation in construction*. v. 8, pp. 489-501, 1999.
- [11] ANTONIO, S. A.; et al. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo

- (CBPMESP). **Coletânea de Manuais Técnicos de Bombeiros**. São Paulo, 2006. (Série Manuais).
- [12] BREDAS, I. L. R. Proposta de uma Ferramenta de Organização e Gestão para o Combate ao Incêndio Urbano. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Porto: Portugal.
- [13] RODRIGUES, W.; MORAIS, L. Análise comparativa dos métodos de dimerização de LEDs de potência. **O Setor Elétrico**. São Paulo – SP, setembro de 2012. Capítulo IX. Pág. 32-40. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed80_fasc_iluminacao_cap9.pdf>. Acesso em: 25 de abril de 2016.
- [14] NETO, M. A. L. **Textos de Apoio à Programação Física dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde: Condições de Segurança Contra Incêndio**. Brasília: Ministério da Saúde. Secretaria de Assistência à Saúde. 1995. 107 p.
- [15] CAMPOS, A. T.; BRAGA, G. C. B. Simulação Computacional Aplicada à Prevenção de Incêndios. Mar. 2011. Disponível em: <<https://bombeirofreitas.files.wordpress.com/2011/03/artigo-simulac3a7c3a3o-computacional-aplicada-c3a0-prevencao-c3a7c3a3o-de-inc3a0ndio-andrc3a9-telles-11c2b0-senabom.pdf>>. Acesso em: 03 de maio de 2016.
- [16] MURTA, S. G.; TRÓCCOLI, B. T. Stress ocupacional em bombeiros: efeitos de intervenção baseada em avaliação de necessidades. **Estudos de Psicologia**, Campinas - São Paulo, Jan – Mar de 2007. p. 42.
- [17] DEMATÉ, D. A. Os perigos de um incêndio de progresso rápido enfrentado pelos combatentes, fenômenos chamados *flashover* e *backdraft*. Curso de Formação de Soldados do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Biblioteca CEBM/SC, Florianópolis, 2012.
- [18] SILVA, R. C. Métodos de combate a incêndio em locais com risco de ignição explosiva (*backdraft*) e ignição súbita generalizada (*flashover*). Curso de Formação de Soldados do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Biblioteca CEBM/SC, Florianópolis, 2012.
- [19] LAYMAN, Lloyd. **Attacking and extinguishing interior fires**. Boston: National Fire Protection Association, 1960.
- [20] VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes reflexivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído/ENCAC e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações/COTEDI. Curitiba, PR. 2003.

- [21] RODRIGUES DE OLIVEIRA, F. A. Instrumentação e identificação de um do conforto térmico. 2010. 124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade de Brasília. Brasília: Distrito Federal.
- [22] OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5^o ed. Prentice-Hall/Pearson. Brasil, 2011.
- [23] JÚNIOR, B. F. A ineficiência do modelo tradicional de treinamento de combate a incêndio em pátio aberto em capacitar bombeiros para atuarem em táticas ofensivas de combate a incêndios estruturais. Vila Velha – Espírito Santo, 03 de fevereiro de 2010. Disponível em: <http://combateaincendio.blogspot.com.br/2010/02/artigo-sobre-o-modelo-tradicional-de.html>. Acesso em: 10 de outubro de 2015.

ANEXOS

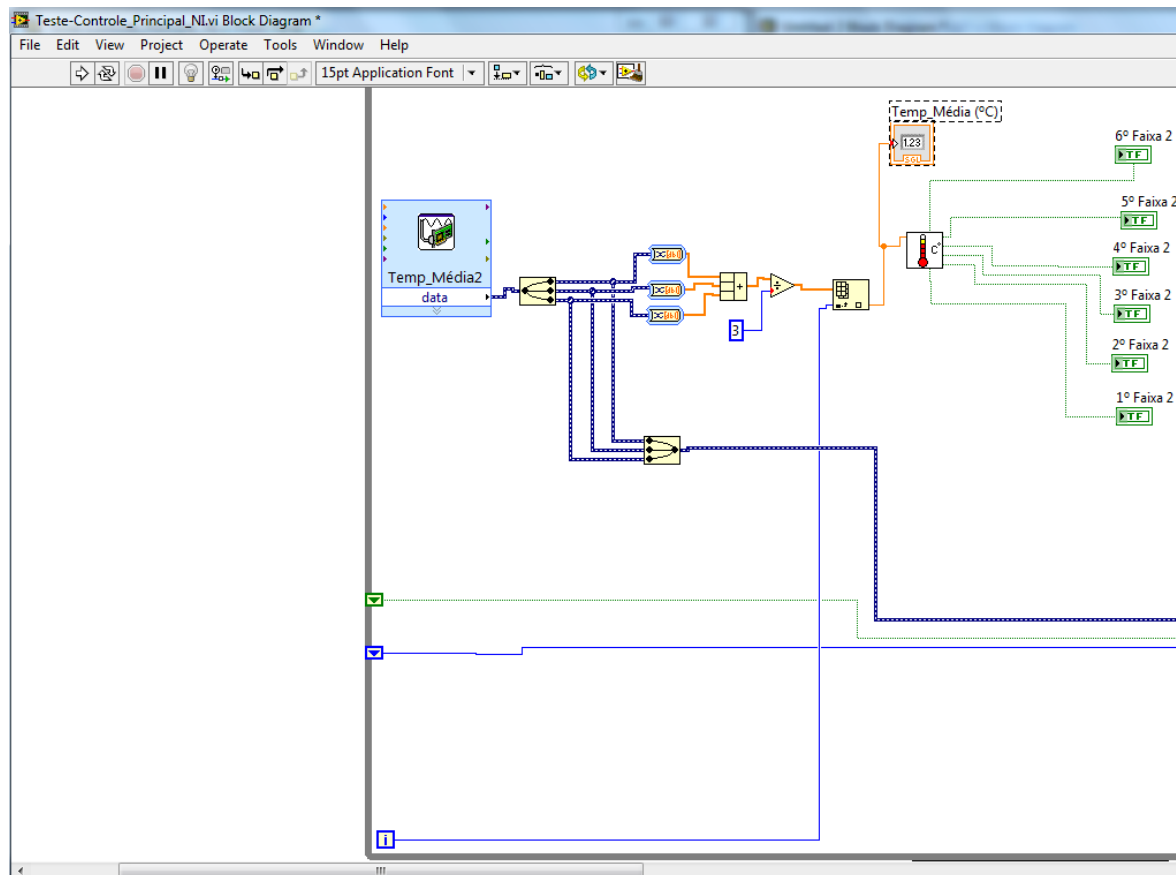


Figura 1. Ilustração do cálculo da média das temperaturas no Labview.

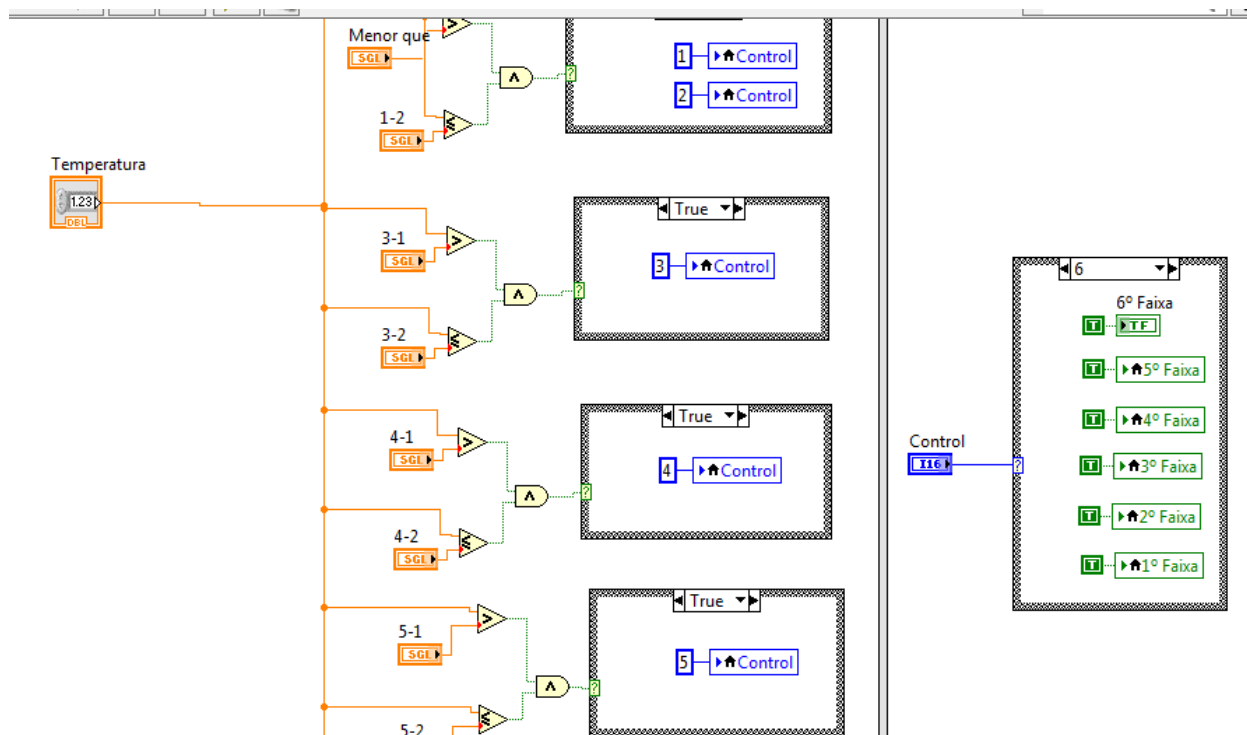
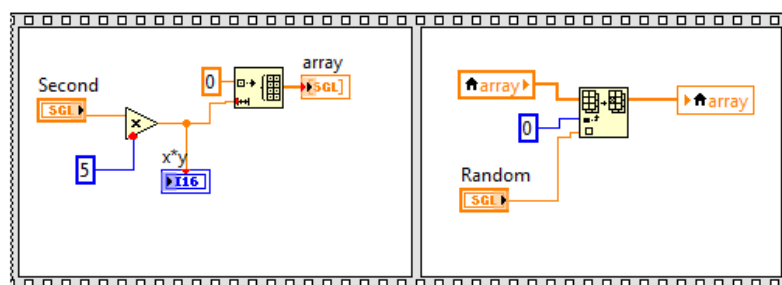


Figura 2. Subprograma que realiza a seleção dos LEDs que deverão ser ligados no Labview.

A partir da quantidade de segundos que se deseja medir o intervalo do jato de água com a queda de temperatura define-se os segundos (second).



Com isso, cria-se uma memória que será armazenado no vetor (array), com a quantidade de dados de acordo com os segundos.

Recebe o valor da temperatura (Random) após a média e aloca no array[0].

Figura 3. Subprograma que cria o array no Labview.

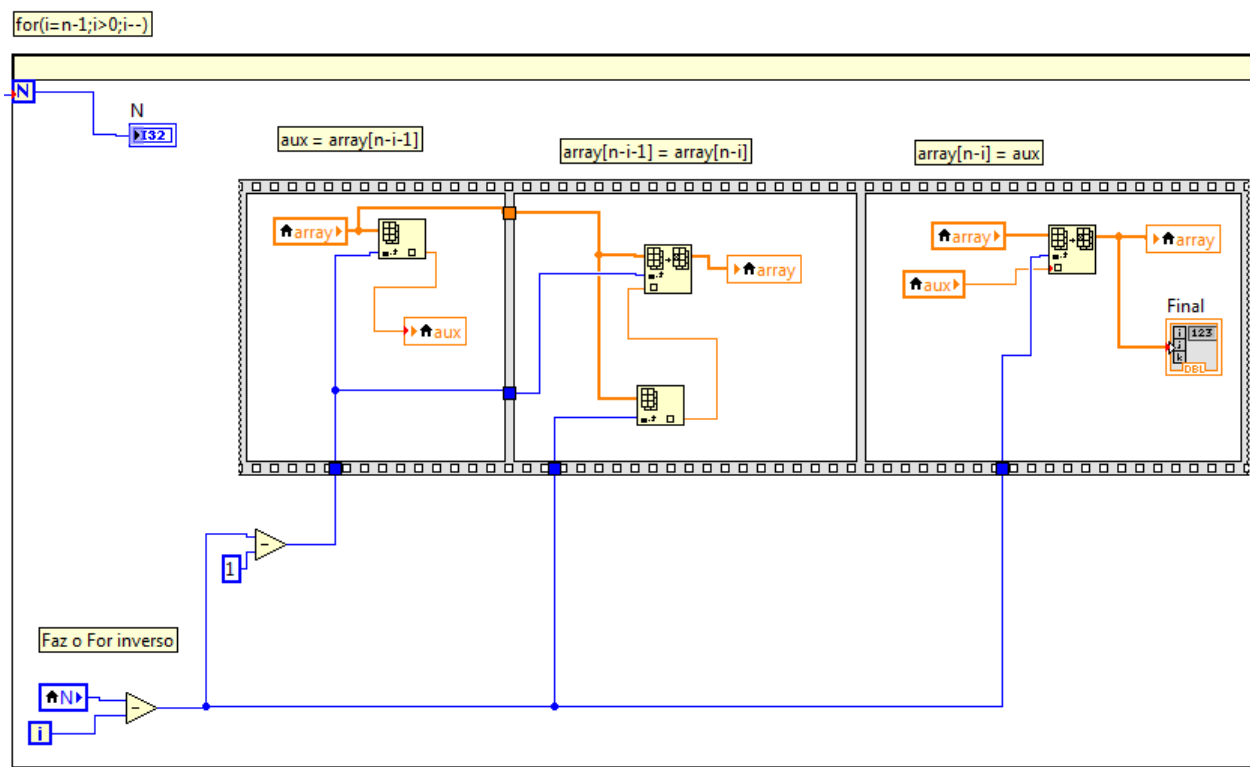


Figura 4. Subprograma que cria a memória em forma de FIFO no Labview.

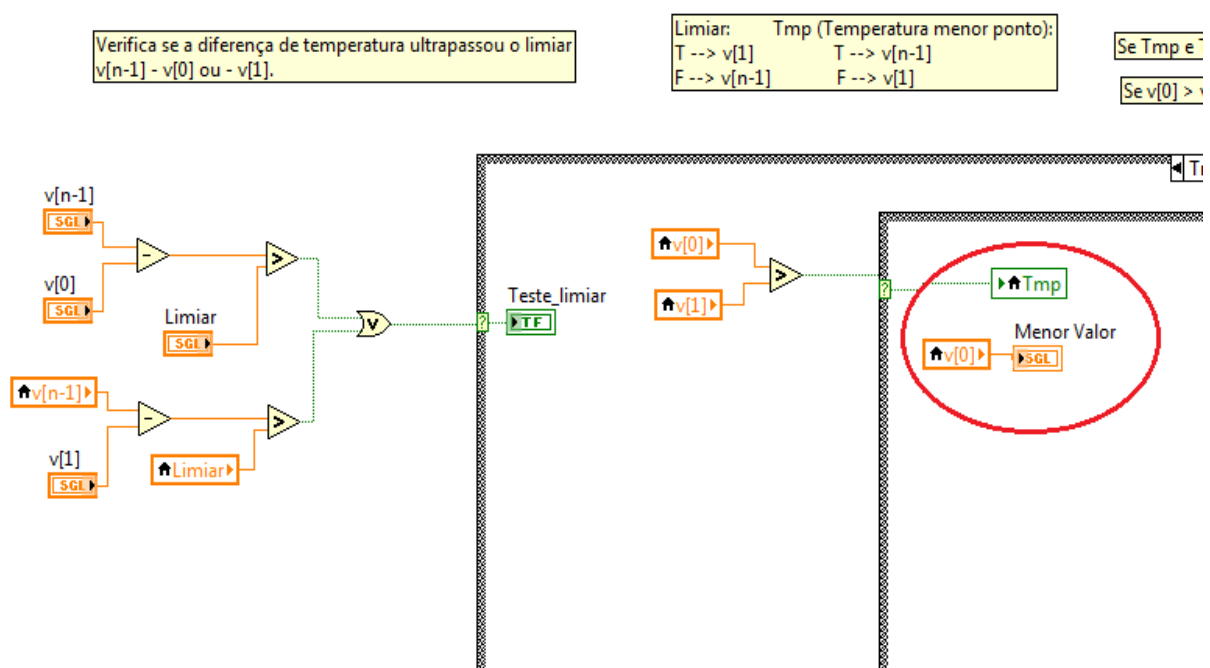


Figura 5. Subprograma Jato_Agua encontrando o menor valor de temperatura no Labview.

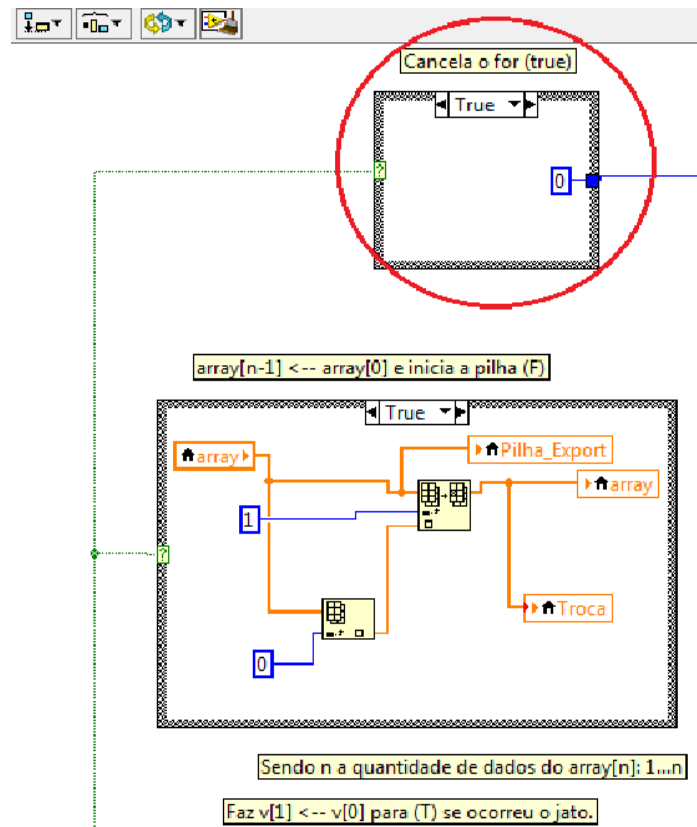


Figura 6. Demonstrando o fim do armazenamento de dados no subprograma Pilha no Labview.

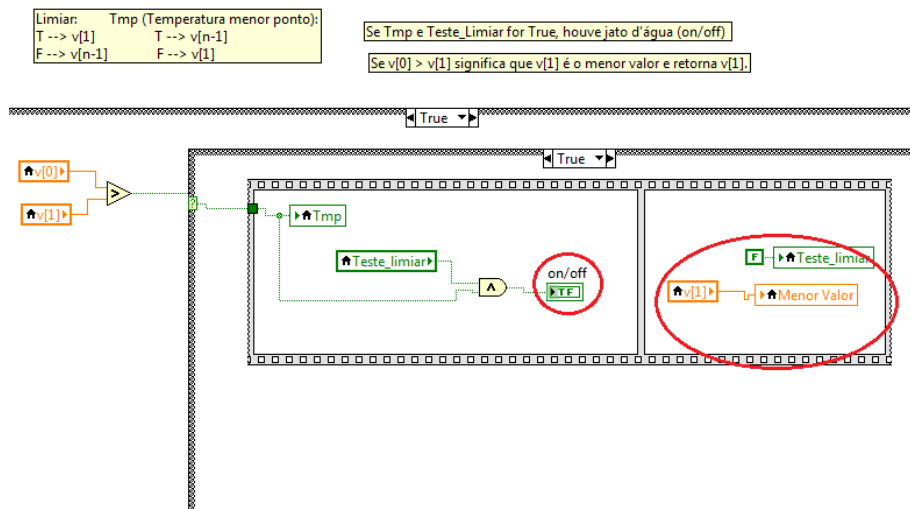


Figura 7. Ilustrando a detecção do menor valor de temperatura no Labview.

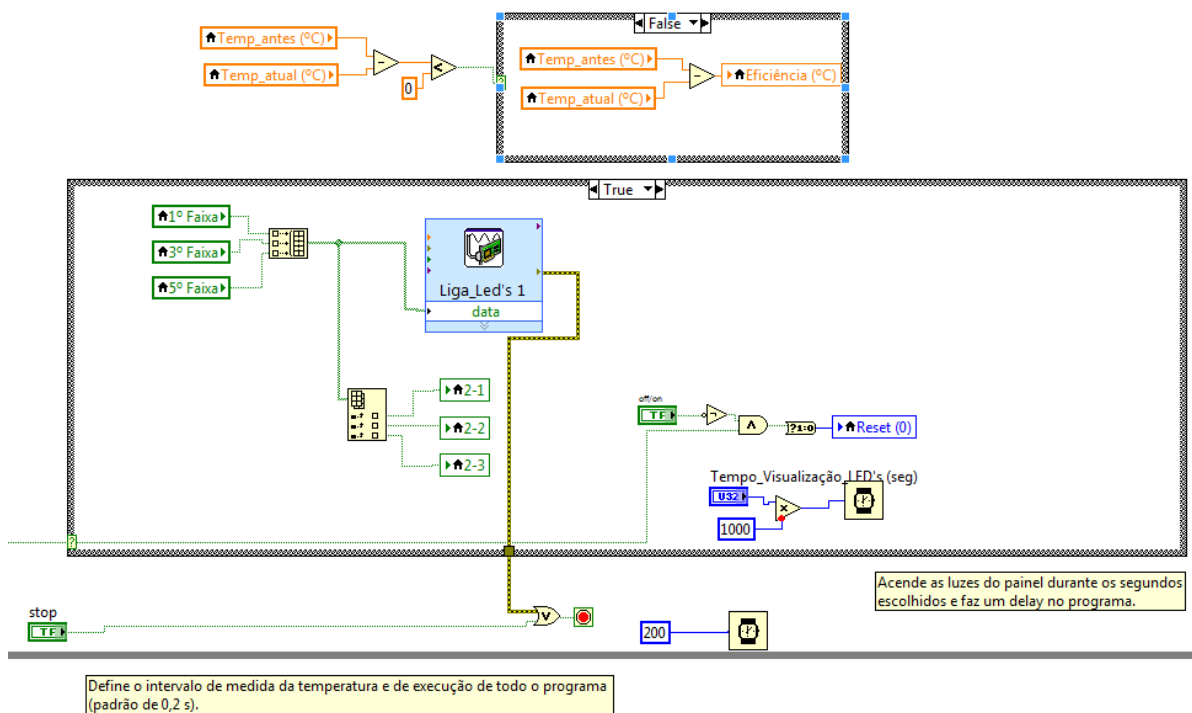


Figura 8. Nesta etapa são ligados os LEDs correspondentes e calculada a eficiência no Labview.

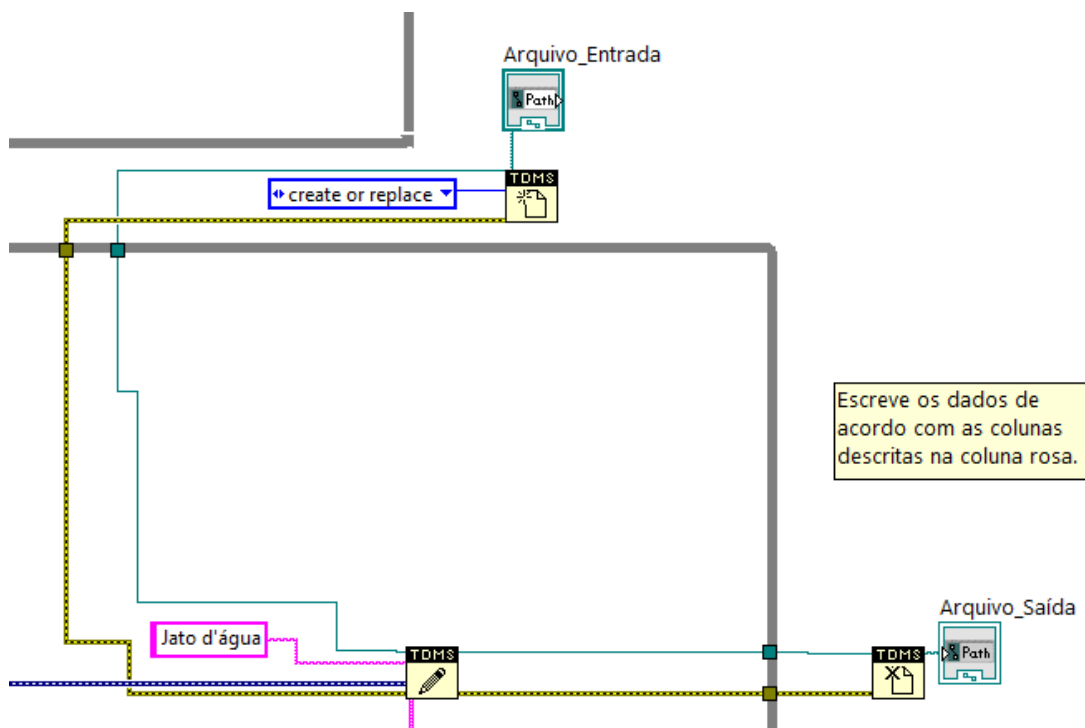


Figura 9. Nesta parte do programa ocorre o armazenamento de dados na planilha no Labview.